

PASSAGES FAUNIQVES AU QUÉBEC : ENJEUX ET FACTEURS DE RÉUSSITE

Par
Frédérique A. Beaulieu

Essai présenté au Centre universitaire de formation
en environnement et en développement durable en vue
de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.)

Sous la direction de Madame Kim Marineau

MAÎTRISE ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Septembre 2018

SOMMAIRE

Mots clefs : écocorridors, connectivité du paysage, collisions, mortalité routière, mesures compensatoires, clôture d'exclusion.

Les projets de passages fauniques sont souvent perçus comme des solutions miracles aux problèmes de connectivité du territoire, de collisions et de mortalité routière de la faune. Or, de nombreux enjeux se rattachent à ces infrastructures, de la planification jusqu'au suivi de leur efficacité. Un clivage s'observe entre les informations produites par la littérature scientifique et l'application des concepts aux routes du Québec.

L'objectif de ce travail est de déceler les enjeux reliés aux projets de passages fauniques du Québec et d'identifier les facteurs qui favorisent leur réussite. L'analyse de la littérature permet de faire ressortir plusieurs défis, de la conception du projet jusqu'au suivi et l'évaluation de l'efficacité des passages. D'abord, la collaboration entre les différentes parties prenantes s'avère fastidieuse, puisque les intérêts, les objectifs visés et les priorités diffèrent d'un corps de travail à un autre. Ensuite, la recherche scientifique sur le sujet est récente et en pleine évolution. Il en résulte que les méthodes optimales ne sont pas encore bien connues ou intégrées par les gestionnaires des projets. Ainsi, les passages fauniques ne sont pas toujours efficaces, que ce soit pour le choix des espèces cibles, pour le choix de l'emplacement des installations et pour le type d'aménagements préconisés. De nombreux problèmes techniques peuvent également survenir, ce qui limite l'efficacité des passages. Enfin, le suivi et l'évaluation de l'efficacité des installations ont deux étapes primordiales, mais souvent négligées pour cause de manque de ressources ou de connaissance.

La compréhension de ces défis offre la possibilité de développer des solutions et d'identifier les principaux facteurs de réussite des projets. Entre autres, la formation de comités de travail multidisciplinaire et qui incluent les parties prenantes importantes est gage d'un meilleur succès. L'étape de la conception est également essentielle pour la réussite du projet. Les connaissances scientifiques doivent être considérées et intégrées au projet, afin de cibler les bonnes espèces, le bon endroit et d'adapter les installations à leurs besoins et au terrain. Le suivi de l'utilisation des passages par la faune doit permettre d'évaluer l'efficacité de l'installation, non seulement pour les collisions, mais aussi pour le rétablissement de la connectivité du territoire.

L'étude des concepts de l'écologie routière, de la connectivité du territoire et du rôle des passages fauniques au Québec permet de formuler des recommandations générales qui visent à améliorer la santé des écosystèmes. Les recommandations s'adressent autant aux paliers gouvernementaux et municipaux qu'aux organismes de conservation.

En conclusion, il est possible d'améliorer l'efficacité des passages fauniques au Québec en considérant les informations scientifiques. Les passages fauniques participent positivement à la connectivité du territoire, mais de plus amples efforts doivent être fournis afin de garantir le maintien de la biodiversité.

REMERCIEMENTS

La rédaction de mon essai s'est avérée fastidieuse, mais ce fut finalement une expérience enrichissante que je suis contente d'avoir accomplie.

La réalisation d'un tel projet n'est pas possible sans le soutien de nombreuses personnes, professionnelles et personnelles. Je tiens d'abord à remercier ma directrice d'essai, madame Kim Marineau, pour ses nombreuses relectures, ses commentaires et ses suggestions. Je la remercie aussi pour sa compréhension et pour sa grande flexibilité. Ce fut très apprécié. Je remercie également toutes les personnes qui ont accepté de partager leur savoir et qui ont pris la peine de répondre à mes questions. Merci.

Je veux également souligner la présence de ma famille. Outre les nombreux encouragements, ils ont pris la peine de relire mes chapitres et de me faire part de leurs opinions. Leur regard sur mon travail m'a permis de le bonifier et de l'améliorer.

Je remercie aussi mes ami(e) s qui m'ont écouté, qui ont partagé leurs expériences de rédaction et m'ont motivée. Je me suis sentie moins seule grâce à vous.

Enfin et surtout, je tiens à remercier mon amoureux, Jadiel, pour sa patience infinie, pour tous ses appels durant son heure du midi où il s'assurait que j'étais encore en vie devant mon ordinateur et aussi pour ses encouragements incessants. Je t'aime et merci pour ton soutien sans limite.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX	vi
LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGNES	vii
INTRODUCTION	1
1. MISE EN CONTEXTE	3
1.1. Effets des routes sur les écosystèmes	3
1.2. Connectivité et corridors écologiques	5
1.3. Écologie routière	7
2. MÉTHODOLOGIE	9
2.1. Recherche d'information	9
2.2. Construction de la grille	10
2.3. Limites de la méthodologie	10
3. LES PASSAGES FAUNIQUES	11
3.1. Historique	11
3.2. Mortalité routière chez la faune terrestre	12
3.2.1. Généralités/État des connaissances	12
3.2.2. Situation du Québec	13
3.2.3. Collecte de données	14
3.2.4. Utilisation des données	15
3.3. Importance des passages fauniques	15
3.4. Types de passages fauniques	16
3.4.1. Passages supérieurs	16
3.4.2. Passages inférieurs	19
3.4.3. Mesures de mitigation accessoires	24
3.5. Exemples d'ici et d'ailleurs	25
3.5.1. Exemple américain	25
3.5.2. Passages supérieurs à Banff	26
3.5.3. Réfection de la route 175, Québec	27

4. LÉGISLATION	28
4.1. Lois et règlements de juridictions fédérale et provinciale.....	28
4.2. Règlements municipaux et outils urbanistiques	29
4.3. Exemples de cas	31
5. ENJEUX ET DÉFIS	34
5.1. Obtenir la collaboration des parties prenantes	34
5.2. Identification de la problématique.....	35
5.3. Choix des espèces cibles des passages fauniques	36
5.4. Choix de l'emplacement	39
5.4.1. Le cas de la mortalité routière	39
5.4.2. Considération budgétaire	41
5.4.3. Tenure privée du territoire	42
5.4.4. Distance entre les aménagements	43
5.5. Choix des aménagements.....	44
5.6. Défis techniques des aménagements	46
5.7. Suivi et évaluation de l'efficacité des passages fauniques	46
6. FACTEURS DE RÉUSSITE	48
6.1. Début de projet	48
6.1.1. Mobilisation des intervenants clés.....	48
6.1.2. Conception des passages fauniques.....	48
6.1.3. Adapter les passages fauniques aux infrastructures existantes	50
6.2. Construction du passage faunique	50
6.3. Suivi du passage faunique	51
7. RECOMMANDATIONS.....	53
7.1. Palier gouvernemental.....	53
7.2. Palier municipal	54
7.3. Organismes de conservation.....	55
7.4. Autres	56
CONCLUSION.....	57

RÉFÉRENCES 59

ANNEXE 1 – GRILLE 63

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1.	Effet des routes sur la faune, selon la densité du réseau	5
Figure 1.2.	Structure théorique d'un réseau écologique	7
Figure 3.1.	Design des ouvertures en arche parabolique	17
Figure 3.2.	Passerelle multiusage	18
Figure 3.3.	Passage en canopée	19
Figure 3.4.	Viaduc pour la faune	20
Figure 3.5.	Passage inférieur multiusage	21
Figure 3.6.	Passage inférieur avec un cours d'eau	21
Figure 3.7.	Exemples de passages pour la petite faune installés le long de la route 175 dans la réserve faunique des Laurentides : A) Aménagement du lit inférieur B) Ponceau modifié, pied sec C) Porte-à-faux dans un ponceau existant D) Porte-à-faux dans un ponceau modifié E) Ponceau sec, TBA F) Muret troué pour la petite faune	23
Tableau 3.1.	Nombre de véhicules de promenade, de camions lourds et total du parc automobile de 2000 à 2014	14

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGNES

BAPE	Bureau des audiences publiques du Québec
LCMVF	<i>Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune</i>
LQE	<i>Loi sur la qualité de l'environnement</i>
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques
MFFP	Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
MTMDET	Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports
SAD	Schéma d'aménagement et de développement

INTRODUCTION

L'étalement urbain est un phénomène actuel bien documenté qui cause de nombreuses problématiques environnementales (Dupras et al., 2016; Jaeger, Bertiller, Schwick et Kienast, 2010). En effet, l'essor de la voiture et le développement de réseaux routiers depuis les années 1960 ont exacerbé le phénomène en donnant accès à la population à un territoire élargi (Dupras et al., 2016). De plus, le désir croissant de vivre dans un environnement vert et tranquille, loin de la ville polluante et effrénée, a favorisé l'émergence des banlieues (Jacobs, 1961). Il en a résulté une migration des citoyens vers l'extérieur des grandes villes et la construction de quartiers étalés, aménagés en fonction de la voiture (Jacobs, 1961). Ce changement de mœurs a entraîné la fragmentation du territoire, la destruction de milieux naturels, forestiers et humides, et la disparition de terres agricoles (Dupras et al., 2016). Ces conditions ont profondément modifié les paysages du sud du Québec.

Des solutions pour remédier à cette perte de connectivité entre les fragments naturels se trouvent dans les concepts de l'écologie routière, l'écologie du paysage et de la conservation. De nombreuses mesures sont mises en place pour rétablir, ou du moins, faciliter la connectivité entre les milieux naturels existants (Boucher et Fontaine, 2010; Gratton, 2014), tels que la conservation stratégique de milieux naturels et l'installation de passages fauniques. Des théories et des concepts ont été développés (Environnement Canada, 2013) et des projets expérimentaux ont été réalisés (Jaeger et al., 2017; Lamontagne, 2017). Aujourd'hui, les notions de corridors fauniques, de trame bleue ou encore de ceinture verte font de plus en plus partie du vocabulaire des fonctionnaires et des politiciens (Communauté métropolitaine de Montréal, 2016; Ville de Sherbrooke, 2012) même si la mise en place de ces structures dans le territoire québécois n'en est qu'à ses balbutiements.

Le sujet des passages fauniques est actuel et bien documenté. En effet, plusieurs chercheurs et gestionnaires en environnement s'y intéressent, puisqu'ils représentent une solution pour le maintien de la biodiversité. Ainsi, il existe une large littérature et de nombreuses données qui gravitent autour de ce sujet. Des guides destinés aux gestionnaires du territoire ont été produits et des professionnels témoignent des essais et des erreurs qu'ils ont faits afin d'améliorer les façons de faire (Bédard, Alain, Leblanc, Poulin et Morin, 2012; Clevenger, 2012; Gratton, 2014). Bref, il s'agit d'un thème populaire qui provoque actuellement un fort engouement chez les biologistes (Corridor appalachien, 2017). Toutes ces informations sont toutefois difficiles à bien intégrer dans les pratiques, surtout dans des contextes et pour des enjeux diversifiés. Il en résulte que l'efficacité des aménagements installés n'est pas toujours optimale et que des améliorations sont souhaitables (Lesbarrères et Fahrig, 2012; Rytwinski et Fahrig, 2013; Teixeira, Kindel, Hartz, Mitchell et Fahrig, 2017). Il devient alors nécessaire d'évaluer l'efficacité de ces passages et d'identifier les facteurs de réussite qui améliorent véritablement la viabilité des populations fauniques visées, notamment chez les amphibiens, reptiles, petits et grands mammifères.

C'est dans cette optique que l'objectif de cet essai est d'identifier les facteurs de réussite des projets et de formuler des recommandations quant à l'aménagement des passages fauniques au Québec. Pour ce faire, plusieurs objectifs spécifiques devront être atteints. D'abord, il est nécessaire de faire le point sur les connaissances actuelles et dresser le portrait de la situation. Ensuite, une analyse des défis et des enjeux propres aux passages fauniques préparera le terrain afin d'identifier les conditions où ces installations sont utiles, de même que les facteurs de réussite des projets. Ces informations permettront enfin de formuler des recommandations visant à maximiser l'efficacité des passages fauniques au Québec.

Cet essai s'appuie sur une recherche approfondie et rigoureuse effectuée dans la littérature scientifique et institutionnelle. Des professionnels en ont également enrichi le contenu en participant à la réflexion et en partageant leur expertise. Les articles de périodique cités ont pour la plupart été révisés par des pairs. Les sources utilisées sont crédibles et fiables. De plus, comme le domaine de l'écologie routière est en pleine expansion, les données présentées sont récentes et les informations sont des plus actuelles. Plus de 60 documents ont été consultés lors de l'élaboration de cet essai.

Il est important d'obtenir préalablement une vision d'ensemble du contexte qui mène à l'installation de passages fauniques sur les routes. Il s'agit de l'objectif du chapitre 1, qui consiste à résumer les différentes notions qui servent de fondement aux passages fauniques. Il y est question de connectivité du territoire, des effets que les routes ont sur les espèces et les écosystèmes et du rôle de l'écologie routière. Une fois ces concepts présentés, une courte méthodologie vient consolider la valeur de la production écrite et de son contenu par la description de la méthode de recherche et de celle utilisée pour l'élaboration d'une grille. Cette dernière résume les préférences des espèces en ce qui concerne l'aménagement des passages. Les limites de la méthodologie y sont aussi abordées brièvement. Les chapitres suivants plongent le lecteur dans la théorie, mais surtout dans l'exposition de la réalité des passages fauniques. Ainsi, le chapitre 3 présente les notions propres aux passages fauniques, tel que l'historique de leur apparition, le phénomène de la mortalité routière, les caractéristiques des différents types de passages fauniques et les mesures de mitigation qui les accompagnent. Quelques exemples de cas intéressants et innovants d'ici et d'ailleurs y sont également exposés. Pour sa part, le chapitre 4 détaille l'aspect législatif qui entourent ces projets, tant de juridictions fédérale, provinciale que municipale. D'ailleurs, de nombreux outils municipaux y sont exposés et sont accompagnés d'exemples pertinents qui peuvent inspirer des municipalités qui souhaiteraient en faire plus. Ensuite, la revue de littérature effectuée, de même que les informations amassées auprès de professionnels consultés ont permis d'identifier bon nombre d'enjeux et de défis à considérer lors des projets de passages fauniques. C'en est le sujet du chapitre 5. Par la suite, les facteurs de réussite identifiés lors de projets réalisés sont présentés au chapitre 6. Il s'agit de la pièce maîtresse de ce travail, puisqu'elle mène à la création d'une grille qui facilite la réussite des projets en fonction des espèces visées par les passages fauniques. Cette grille est présentée à l'annexe 1. Enfin, le chapitre 7 se constitue de recommandations générales adressées aux gouvernements, aux municipalités et aux organismes de conservation dans le but d'améliorer l'état des écosystèmes québécois, la connectivité du

paysage et de favoriser le maintien de la biodiversité. Les passages fauniques font partis de la solution, mais de nombreux efforts menés sur plusieurs fronts doivent être mise en place afin de réduire les impacts anthropiques sur l'environnement.

Cet essai se veut utile pour les gestionnaires de la faune et les professionnels de l'écologie du paysage. Il tente de répondre au besoin qui s'est fait sentir lors du Colloque sur l'écologie routière et l'adaptation aux changements climatiques : de la recherche aux actions concrètes (Corridor appalachien, 2017), tenu en octobre 2017. Plusieurs professionnels y ont fait connaître leur désarroi vis-à-vis l'écart entre la qualité des connaissances scientifiques sur le sujet et ce qui est appliqué sur le terrain. Il est souhaité que ce document puisse encourager et donner les outils aux gestionnaires impliqués pour mettre en place ces solutions et leur permettre d'optimiser les mesures de contrôle ou de passage de la faune.

1. MISE EN CONTEXTE

La conception des passages fauniques s'appuie sur plusieurs notions développées dans les domaines de l'écologie et de la conservation. Il est important de les décrire afin d'assurer la compréhension de la suite de l'essai. Cette section débute sur le thème des effets des routes sur les écosystèmes. La connectivité et les corridors écologiques sont ensuite exposés. La définition du concept de l'écologie routière vient finalement clore ce premier chapitre.

1.1. Effets des routes sur les écosystèmes

La perte d'habitats est actuellement considérée comme la plus grave menace à la biodiversité, devant les espèces exotiques envahissantes, la surexploitation des ressources, la pollution et les changements climatiques (Primack, 2014). Plusieurs éléments participent à la destruction des milieux naturels, dont l'un des principaux est le développement et l'expansion des villes (Primack, 2014; Trombulak et Frissell, 2000). En effet, plus de la moitié de la population humaine vit en milieux urbains, et cette proportion grimpe à 82 % pour le Canada (Banque mondiale, 2017). Cette forte pression démographique a pour effet de provoquer la croissance des villes et entraîne leur étalement vers les milieux naturels avoisinants (Jaeger et al., 2010). De plus, les citoyens apprécient la tranquillité de la nature et des activités qu'elle offre, ce qui justifie le développement de banlieues peu densifiées autour des villes, loin des grands centres (Dupras et al., 2016; Jacobs, 1961; Jaeger et al., 2010). La destruction de milieux naturels et la construction de nouvelles routes sont dans ce cas inévitables.

Les routes ont des effets importants sur les écosystèmes et sur les populations fauniques. D'abord, le réseau routier dans son ensemble perturbe le paysage en fragmentant le territoire et les milieux naturels continus (Forman, 1998). Il rompt également la structure horizontale des écosystèmes, tel que le mouvement de l'eau de surface, ce qui en affecte les fonctions. (Benítez-López, Alkemade et Verweij, 2010; Forman et Alexander, 1998) Il participe également à la pollution des milieux naturels par l'émission de produits chimiques en plus de présenter un risque en cas de déversements accidentels. Ces polluants se

répandent dans les écosystèmes terrestres et aquatiques par l'entremise de l'eau de ruissellement provenant des surfaces imperméables des routes. De plus, l'entretien du réseau cause un apport excessif en sédiments et en minéraux vers les milieux adjacents. La nature rectiligne de son parcours ainsi que les tontes de ses abords favorisent l'implantation d'espèces exotiques envahissantes. Ainsi, à l'échelle du paysage, le réseau routier a de nombreuses répercussions qui contribuent à la perte de biodiversité. (Forman et Alexander, 1998)

La construction de nouvelles routes entraîne pour sa part la destruction immédiate d'habitats en plus d'accroître l'accès au territoire aux hommes (Benítez-López et al., 2010) qui viendront y pratiquer toutes sortes d'activités ayant elles aussi leurs impacts. Des ouvertures sont créées à l'intérieur de milieux naturellement fermés, ce qui représente une perturbation pour les écosystèmes et les espèces qui les composent (Benítez-López et al., 2010; Forman et Alexander, 1998).

Les routes ont aussi l'effet de limiter l'espace accessible aux espèces qui sont vulnérables aux perturbations anthropiques. En effet, plusieurs espèces évitent les routes à cause du bruit des véhicules, des stimuli visuels et des odeurs, qui peuvent causer du stress (Benítez-López et al., 2010; Forman et Alexander, 1998). La présence de prédateurs dans les milieux naturels limitrophes aux routes en empêche d'autres de s'aventurer dans ces milieux perturbés (Forman et Alexander, 1998). La superficie du territoire auparavant inaccessible est donc accrue pour ces espèces.

Un autre effet bien documenté des routes sur les populations fauniques est la mortalité routière. Il est estimé que des millions de vertébrés meurent chaque jour aux États-Unis des suites de collisions (Forman et Alexander, 1998). Les données récoltées le sont principalement pour les accidents impliquant la grande faune, dû à la gravité des dommages et des blessures qui surviennent (Gratton, 2014; Peltier, 2012). Le développement des réseaux routiers augmente la fréquence des collisions (Gratton, 2014; Peltier, 2012). Les espèces à grand domaine vital, qui se déplacent considérablement, celles qui n'évitent pas les véhicules et les espèces qui détiennent de faibles taux de reproduction y sont très sensibles (Fahrig et Rytwinski, 2009; Jaeger et al., 2005). Des conséquences directes de la mortalité routière sont observables sur l'abondance des populations, principalement lorsque le taux de mortalité est supérieur au taux de natalité (Bissonette et Adair, 2008; Fahrig et Rytwinski, 2009). De surcroît, la mortalité routière limite le déplacement des espèces en diminuant le nombre d'individus qui traversent avec succès les routes. Il s'agit d'un problème pour l'accès aux ressources et pour le flux de gènes. Ces effets combinés affectent la viabilité à long terme des populations qui y sont sujettes et nuisent au maintien des espèces.

Les routes peuvent également constituer un obstacle infranchissable pour certaines espèces à cause des perturbations qu'elles engendrent ou du fait de la surface non naturelle qui les recouvre. Ce comportement d'évitement des routes est connu comme l'effet barrière. Il a pour impacts de limiter les déplacements de la faune et restreint l'accessibilité aux ressources (habitat, nourriture, partenaire) (Benítez-López et al., 2010; Bissonette et Adair, 2008; Forman et Alexander, 1998). Le déplacement des espèces est important pour

assurer le flux des gènes, le succès reproducteur des individus, mais aussi pour le maintien de la structure naturelle des populations (Bissonette et Adair, 2008; Primack, 2014).

En résumé, les routes ont pour effet de fragmenter le territoire, d'en réduire la perméabilité et la connectivité (Bissonette et Adair, 2008). Ceci occasionne l'isolement des populations qui n'osent pas s'aventurer près des routes et engendre une importante mortalité chez plusieurs espèces. L'isolement des populations additionné à l'effet barrière et principalement à l'effet de déplétion entraînent une réduction de la diversité génétique des populations. Effectivement, une restriction de la migration peut avoir des effets graves sur la diversité génétique et provoquer de la dérive chez les populations fortement fragmentées (Bissonette et Adair, 2008; Jackson et Fahrig, 2011; Primack, 2014). Dans ce cas, les populations touchées sont plus vulnérables aux phénomènes stochastiques (qui sont dus au hasard), environnementaux ou démographiques, et à la subdivision génétique (Jackson et Fahrig, 2011). À long terme, il en résulte une perte de biodiversité et une dépréciation de la résilience des écosystèmes. La figure 1.1 illustre bien l'effet des routes sur la faune.

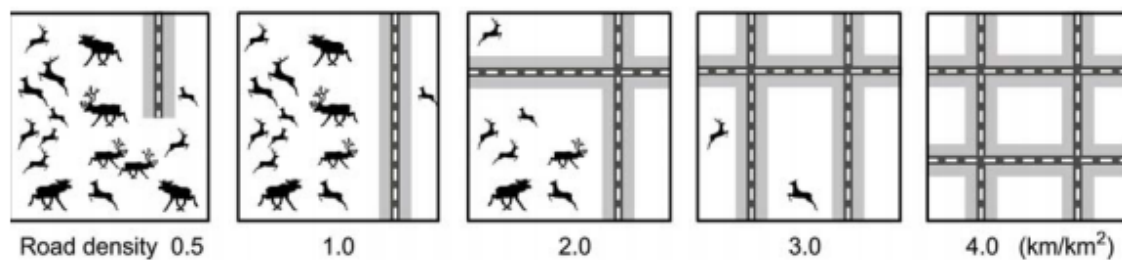


Figure 1.1. Effet des routes sur la faune, selon la densité du réseau (tiré de : Clevenger et Huisjer, 2011)

Toutefois, il est nécessaire de spécifier que, malgré que la majorité des effets ait des impacts négatifs à l'échelle des populations, certaines espèces ne sont pas affectées par les routes et même que d'autres en tirent des avantages (Fahrig et Rytwinski, 2009; Jaeger et al., 2005; Lesmerises, Dussault et St-Laurent, 2012). Cette nuance fera l'objet du Chapitre 5. Enjeux et défis des passages fauniques.

1.2. Connectivité et corridors écologiques

En regard des effets des routes sur la biodiversité, il devient évident que des mesures doivent être prises afin d'améliorer la situation et favoriser la conservation des espèces. D'autant plus que l'indice de connectivité des milieux naturels est en constante décroissance au Québec, du fait de l'étalement urbain et du développement des réseaux routiers (Dupras et al., 2016). Il y a donc un besoin pour préserver les milieux naturels encore présents et développer un réseau écologique fonctionnel (Dupras et al., 2016; Kohler, Scheurer et Ullrich, 2009).

Le concept de la connectivité réfère à la perméabilité du paysage et se définit comme étant « le degré auquel un paysage facilite ou restreint le mouvement des organismes entre les fragments d'habitats »

(Taylor, Fahrig, Henein et Merriam, 1993). En d'autres mots, la connectivité a pour objectif de faciliter le déplacement des populations et de leur donner accès aux ressources dispersées aléatoirement sur le territoire, telles que les habitats, la nourriture et les partenaires (Bissonette et Adair, 2008; Fahrig et Rytwinski, 2009; Gratton, 2014; Taylor et al., 1993). La connectivité permet de maintenir les fonctions des écosystèmes, d'en augmenter la résilience et de favoriser la viabilité des populations fauniques (Dupras et al., 2016; Gratton, 2014).

La connectivité peut être fonctionnelle ou structurelle et adaptée à différentes échelles (Bissonette et Adair, 2008; Gratton, 2014). La connectivité fonctionnelle réfère au « degré selon lequel le paysage permet le déplacement d'une espèce ciblée ou le déroulement d'un processus écologique dans la mesure où toutes les autres conditions sont remplies » (Gratton, 2014). C'est-à-dire que la connectivité remplit une fonction précise qui contribue au maintien de la biodiversité. La connectivité structurelle réfère plutôt au « degré selon lequel les composantes similaires d'un paysage, telles que des fragments d'habitats ou de végétation naturelle, sont physiquement reliées entre elles » (Gratton, 2014). Il s'agit donc du lien physique entre les parcelles d'habitats.

Pour favoriser la connectivité, il est nécessaire d'identifier des corridors qui permettent de relier les noyaux de conservation d'intérêt entre eux (Boucher, 2013; Gratton, 2014; Kohler et al., 2009). Les corridors permettent aux espèces végétales et fauniques, principalement celles à grands domaines vitaux, de se déplacer à leur rythme entre les différentes parcelles (Forman et Alexander, 1998; Primack, 2014). Ils favorisent par le fait même la circulation des flux génétiques et facilitent l'adaptation des espèces en cas de perturbations en donnant accès à davantage de territoire (Primack, 2014).

Les corridors naturels, fauniques ou écologiques peuvent prendre plusieurs formes selon les espèces cibles et la nature du terrain (urbanisé, naturel, agricole, etc.) (Boucher, 2013; Gratton, 2014). Ils peuvent être rectilignes et suivre la topographie du territoire, par exemple en étant adjacents à un cours d'eau. Ils peuvent également suivre un design de style pas-à-pas (Figure 1). Ce type de corridor peut-être utile en contexte urbain, surtout pour la faune aviaire (Boucher, 2013). Des corridors naturels peuvent également être protégés afin d'assurer leur maintien dans le temps et l'espace. Leur largeur, longueur et hauteur ont des effets différents sur les écosystèmes et leur attribuent des fonctions diversifiées (Boucher, 2013).

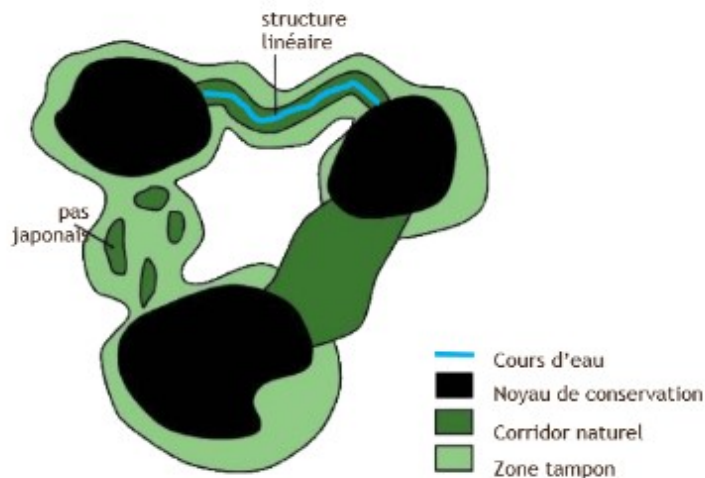


Figure 1.2. Structure théorique d'un réseau écologique (tiré de : Conseil régional de l'environnement du Centre-du-Québec, s.d. et adapté de : Kohler et al., 2009)

Les passages fauniques participent à la connectivité du territoire en favorisant la traversée sécuritaire de la faune de part et d'autre des routes. Les gestionnaires de la faune souhaitent installer les passages fauniques dans la lignée d'un corridor écologique afin de faciliter le déplacement de la faune entre les différents noyaux de conservation (Gratton, 2014).

À l'échelle du paysage, la finalité est idéalement d'obtenir un réseau écologique hétérogène et bien structuré (Figure 1). Pour ce faire, des noyaux de conservation d'intérêts doivent être protégés et entourés d'une zone tampon suffisante pour ne pas importuner les espèces vulnérables aux perturbations humaines. Un réseau de corridors doit aussi permettre à la faune et à la flore de se déplacer et de remplir leurs besoins essentiels. Enfin, des passages fauniques peuvent être installés là où le réseau routier interfère.

1.3. Écologie routière

L'écologie routière est une science relativement récente et en pleine émergence. Vers la fin des années 1980, début 1990, plusieurs chercheurs se sont intéressés aux effets des routes sur les écosystèmes et ont commencé à recenser les dommages causés par celles-ci. Il a été possible d'identifier des enjeux qui sont toujours d'actualité. Ces derniers ont justifié la présence de biologistes et de gestionnaires de l'environnement dans les domaines de l'ingénierie et du transport. De plus, le domaine de la conservation a vu de nouvelles responsabilités et opportunités face à ces enjeux de préservation de la biodiversité.

Les professionnels de l'écologie routière s'intéressent à la gestion des eaux de ruissellement des routes et des surfaces imperméables du réseau, à la végétation en abord de routes et à la faune, à la colonisation des milieux adjacents par les espèces exotiques envahissantes ainsi qu'à la pollution par des produits chimiques et des sédiments. Ils s'occupent également de la gestion des ruisseaux et des cours d'eau à

proximité des routes. Ils ont aussi un rôle à jouer en ce qui concerne la sécurité routière et la gestion de la grande faune, souvent impliquée dans des collisions. (Forman et Alexander, 1998)

Le volet de l'écologie routière qui prévaut dans cet essai est celui qui, dans une optique de sécurité des usagers et de la faune, permet de réduire les effets négatifs des routes en implantant des passages fauniques aux endroits stratégiques (Gratton, 2014). C'est-à-dire que les passages fauniques et les mesures de mitigation qui les accompagnent ont pour objectifs de faciliter le déplacement de la faune, de réduire les collisions avec les véhicules ainsi que la mortalité routière. L'écologie routière intègre également dans son analyse les corridors fauniques, l'aménagement du territoire et la mise en valeur des infrastructures routières en place (Gratton, 2014).

2. MÉTHODOLOGIE

Ce deuxième chapitre a pour objectif de décrire la méthodologie employée lors de la conception de cette production de fin d'études. Les limites identifiées en cours de route sont également énoncées.

2.1. Recherche d'information

Dans un premier temps, un survol de la littérature a permis de prendre connaissance de l'ampleur des articles et des documents produits sur le sujet des passages fauniques. Ensuite, la recherche s'est raffinée autour des thèmes les plus pertinents dans le cadre de cet essai. Ainsi, la recherche s'est concentrée sur les projets de passages fauniques et les mesures de mitigation, sur les effets des routes sur les espèces, sur les concepts de l'écologie du paysage et de la connectivité du territoire.

Les recherches se sont principalement effectuées dans l'Outil de découverte de l'Université de Sherbrooke, qui rend accessible une vaste gamme de documents. Des recherches ont également été réalisées à travers la banque de données Scopus. Finalement, les moteurs de recherche publics de Google, tels que Google Scholar, ont permis d'éplucher la littérature institutionnelle et de naviguer sur différents sites web d'intérêt.

La majorité des références utilisées ont été rédigées au Canada et au Québec par des chercheurs universitaires et ont été publiées par des revues où les textes sont révisés par des pairs. Plusieurs sources proviennent également des États-Unis et quelques-unes de l'Europe. Des documents produits par le gouvernement provincial du Québec ont aussi été utilisés, de même que certains guides très pertinents réalisés par des organismes de conservation et par des biologistes de renom. Quelques essais de la maîtrise en environnement de l'Université de Sherbrooke ont enrichi les informations et permis d'identifier davantage d'articles de référence.

La recherche d'information s'est effectuée en français et en anglais. La priorité a été attribuée aux articles dont le contenu pouvait s'appliquer aux contextes québécois. Ainsi, les études portant sur des espèces tropicales ont été exclues, de même que ceux réalisés dans des pays où la culture et le contexte social étaient trop divergeant de la réalité québécoise.

Afin de consolider certaines informations et d'obtenir des avis professionnels, des personnes ressources ont également été consultées. Un stage réalisé au MTMDet a notamment permis de prendre connaissance de plusieurs enjeux qui entourent la pratique de l'écologie routière et l'utilisation de passages fauniques. Durant ce séjour de huit mois, de nombreux professionnels expérimentés ont été interrogés et ces informations acquises ont enrichi ce travail.

De surcroît, les conférences qui ont eu lieu lors du Colloque sur l'écologie routière et l'adaptation aux changements climatiques (Corridor appalachien, 2017) et lors de l'assemblée annuelle de l'organisme Éco-Corridor laurentien ont contribué à l'acquisition d'information et à la collecte de points de vue de professionnels.

2.2. Construction de la grille

La construction de la grille s'est effectuée grâce à la littérature et aux informations acquises lors de la recherche. Il s'agit d'un résumé des conseils et des facteurs de réussite recensés lors de la réalisation de cet essai. Cette grille peut servir aux professionnels qui souhaitent obtenir rapidement de l'information sur le type de passage faunique à privilégier selon le groupe d'espèce visé. De plus, elle expose certaines conditions à respecter pour assurer l'efficacité du passage faunique. La grille est présentée à l'annexe 1.

2.3. Limites de la méthodologie

Certaines limites se sont présentées au cours de la rédaction sans toutefois influencer la qualité des informations transmises.

Premièrement, il s'est avéré que la littérature sur le sujet des passages fauniques est abondante et qu'une majorité des articles sont récents et pertinents. Cette limite, plutôt positive, a posé un défi de gestion de temps et d'efficacité. Tous les documents n'ont pu être consultés mais une sélection des articles les plus pertinents a été faite.

Deuxièmement, autant la littérature sur les passages fauniques est abondante, autant celle sur le comportement de la faune vis-à-vis les routes est rare. Plusieurs études traitent des amphibiens et des reptiles, mais, étonnamment, peu d'études s'intéressent aux mammifères, petits ou grands.

Malgré ces limites, la recherche d'information est complète et offre un portrait adéquat de la situation des passages fauniques au Québec.

3. LES PASSAGES FAUNIQUES

Ce chapitre se dédie entièrement aux passages fauniques. Une revue historique est d'abord présentée, ce qui permet de comprendre le contexte et l'état des connaissances actuelles. Un point informatif sur la mortalité routière est aussi développé, puisqu'il s'agit d'un facteur décisif lorsqu'il est question de passages de la faune. L'importance des passages fauniques et les objectifs qui justifient leur implantation y sont ensuite traités. Le corps de ce chapitre s'articule particulièrement autour des types de passages fauniques qui existent et qui sont applicables au territoire du Québec. Les informations techniques y sont présentées, ainsi que des spécificités importantes. Enfin, quelques exemples américains, canadiens et québécois sont illustrés afin de relever certaines innovations inspirantes et pour illustrer ce qui est réalisé dans la province québécoise.

3.1. Historique

L'écologie routière est une science récente qui prend de l'ampleur auprès des scientifiques et des gestionnaires de la faune de l'Amérique du Nord depuis le début des années 1990, et bien avant en Europe. Plus précisément, les recherches sur le sujet des effets des routes sur la biodiversité ont émergé vers la fin des années 1980, ce qui a poussé les chercheurs à développer des méthodes pour réduire les impacts des infrastructures routières sur la grande faune. Il faut attendre vers la fin des années 1990 pour que les gouvernements s'intéressent et intègrent ces données à la gestion des projets d'infrastructures. Les agences de transport et les gestionnaires du territoire ont alors commencé à considérer de façon plus systématique la protection de la faune dans les grands projets autoroutiers (Clevenger, 2012; Clevenger et Huijser, 2011; van der Ree, Jaeger, van der Grift et Clevenger, 2011).

Un phénomène majeur a augmenté l'importance accordée à la faune par les gestionnaires : la mortalité routière. En effet, lorsque les données de mortalité ont commencé à être colligées, il est devenu impératif d'agir afin d'en réduire la portée. De surcroît, il devenait préoccupant avec l'expansion du réseau routier de constater l'augmentation des accidents entre des véhicules et la grande faune, majoritairement avec des cervidés et des ours (Peltier, 2012). Depuis, les études ont afflué et de nombreuses mesures ont été prises par les gouvernements afin de réduire les collisions et trouver des solutions viables économiquement et socialement (Bellefeuille et Poulin, 2004).

Au Québec, ce sont plus de 185 000 km de routes qui sillonnent le paysage, dont 29 000 km (16 %) sont gérés par le ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports (MTMDET) (Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports, 2018). Le processus de gestion de la faune sur les routes du Québec est le même que celui observé ailleurs. C'est-à-dire que la prise de données sur la mortalité routière et l'étude du territoire mènent à la mise en place de mesures de mitigation et de passages fauniques. Des bancs d'essai ont été réalisés par le biais des premiers projets d'envergure impliquant des passages fauniques, améliorant ainsi les pratiques. De nombreuses données ont aussi été prises et les techniques d'aménagement ont évolué. De plus, d'importants projets de

recherche post-installation des passages ont été réalisés, ce qui permet de faire le bilan sur les réussites des projets et d'identifier les points à améliorer. (Bellefeuille et Poulin, 2004; Jaeger et al., 2017)

En ce qui concerne spécifiquement les passages fauniques, il s'avère que des citoyens ont commencé à s'intéresser très tôt à l'effet des routes sur la faune, sans que leurs démarches entraînent un mouvement de recherche instantané. Ainsi, dès les années 1950, la France et les États-Unis innovent en inaugurant leurs premiers passages fauniques. Il faut attendre jusque dans les années 1970 pour que les techniques s'améliorent aux États-Unis, alors que l'Utah dévoile le premier passage supérieur du pays. En Europe, l'expérience de la France a fait son chemin rapidement et de nombreuses avancées sont faites dans le domaine depuis le premier passage. Ainsi, le premier passage supérieur du Vieux Continent voit le jour aux Pays-Bas en 1974. En revanche, il faut attendre jusqu'en 1982 pour que ces infrastructures aériennes soient aménagées en France. (Clevenger et Huijser, 2011)

Au Canada, les passages fauniques font leur apparition autour des années 1980. Depuis, de nombreux sommets et rencontres ont eu lieu aux États-Unis et au Canada afin de discuter de l'écologie routière, des avancées techniques et de l'efficacité des infrastructures. (Clevenger et Huijser, 2011)

3.2. Mortalité routière chez la faune terrestre

Les études réalisées jusqu'à ce jour sur la mortalité routière chez la faune offrent des informations précieuses et spécifiques aux espèces et aux habitats étudiés. De plus, l'état des connaissances permet d'identifier les causes générales de la mortalité routière.

3.2.1. Généralités/État des connaissances

D'abord, il est important de comprendre que la mortalité n'est pas distribuée de façon aléatoire sur le territoire : il y a des facteurs explicatifs (Garrah, Danby, Eberhardt, Cunnington et Mitchell, 2015). Ceci signifie qu'il est possible de les prévoir et de les contrer.

Les chercheurs s'entendent sur plusieurs facteurs physiques du territoire qui augmentent le risque de collisions. Ils se regroupent sous le thème du patron spatial de la mortalité routière (Garrah et al., 2015). La proximité d'habitats de qualité ou d'habitats abondants de part et d'autre de la route en fait partie, puisque la faune y est présente (Eberhardt, Mitchell et Fahrig, 2013; Garrah et al., 2015). La proximité de milieux humides est également un facteur de risque pour les amphibiens et les reptiles qui dépendent de ces habitats pour la reproduction et l'alimentation (Garrah et al., 2015). Le couvert végétal en bord de route peut aussi augmenter les risques de collisions, considérant que la faune peut fréquenter le milieu à des fins d'habitat, de protection contre les prédateurs et d'alimentation (Bellefeuille et Poulin, 2004). Certains éléments attractifs de la route peuvent également contribuer à l'augmentation des risques de collision, tels que le sel et autres abrasifs, qui attirent particulièrement les cervidés. La température de la surface de la route représente quant à elle une source intéressante de chaleur pour les ectothermes (Bellefeuille et Poulin, 2004). La structure et les caractéristiques de la route contribuent également au patron spatial

(Garrah et al., 2015). En effet, la densité du réseau sur le territoire, la vitesse autorisée et le volume de la circulation sont tous des facteurs qui influencent la mortalité routière. À titre illustratif, un réseau dense et où la circulation est abondante et où les véhicules se déplacent à grande vitesse est gage d'une mortalité plus élevée (Benítez-López et al., 2010; Bissonette et Adair, 2008).

Les scientifiques ont également découvert que la mortalité routière varie selon un patron temporel. En effet, des pics de mortalité sont observés en fonction des saisons et de l'histoire de vie des espèces. Ainsi, davantage d'animaux sont victimes de la route en période de rut, lors de la sortie de l'hibernation, en période de migration ou de dispersion des jeunes, etc. (Bellefeuille et Poulin, 2004; Garrah et al., 2015)

Il faut aussi considérer certains facteurs ponctuels qui entraînent de la mortalité chez la faune. Par exemple, des facteurs environnementaux, tels que la température et les épisodes de pluie intense, ou bien la variation journalière ou hebdomadaire du trafic peuvent favoriser la mortalité de certaines espèces (Bellefeuille et Poulin, 2004; Garrah et al., 2015).

Il s'avère que certaines espèces sont plus sujettes à la mortalité routière du fait de leur comportement. La littérature les divise en quatre catégories. Il y a d'abord les espèces attirées par les routes, que ce soit à des fins de thermorégulation ou pour la consommation de ressources minérales. Il y a ensuite les animaux qui n'évitent pas les surfaces des routes ni les véhicules en circulation et ceux qui se déplacent lentement et qui ont alors moins de succès de traversée. Enfin, il y a les espèces à grand domaine vital, qui se déplacent régulièrement et sur de longues distances, ce qui augmente leur probabilité de rencontrer une voie fréquentée. Cette dernière catégorie est souvent caractérisée par des animaux de fort gabarit. (Fahrig et Rytwinski, 2009; Garrah et al., 2015)

Ces informations sont importantes à considérer et à analyser lors des projets de développement du réseau routier, mais également lors de la conception des passages fauniques. L'intégration de ces données sera discutée plus en détail dans le Chapitre 5 – Enjeux et défis des passages fauniques.

3.2.2. Situation du Québec

Au Québec, il s'est observé une augmentation du nombre de collisions avec la grande faune (cervidés et ours noirs) au cours des dernières années (Peltier, 2012). En effet, il se produit plus de 6000 collisions avec la grande faune par année et ce chiffre tend à croître (Gratton, 2014). Cette hausse est due notamment à l'expansion du réseau routier, à l'accentuation du trafic autoroutier ainsi qu'à la croissance des populations de cervidés (Peltier, 2012).

L'augmentation de l'usage du réseau routier est facilement observable en étudiant le nombre croissant de voitures mises en circulation depuis les années 2000 (Tableau 3.1). En effet, selon le MTMDET (2018), il y aurait 33 % plus de véhicules sur les routes de la province aujourd'hui qu'il y a 15 ans. Cependant, une nette amélioration de la sécurité routière est observable, grâce aux travaux effectués sur les routes et par l'avancée technologique qui rend les véhicules plus sécuritaires (Bellefeuille et Poulin, 2004).

Tableau 3.1. Nombre de véhicules de promenade, de camions lourds et total du parc automobile de 2000 à 2014 (tiré de : Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports, 2018)

Type de véhicule	2000	2009	2014	Augmentation de 2000 à 2014
Véhicules de promenade	3 843 685	4 377 955	4 742 210	23,4%
Camions lourds	107 678	118 890	135 392	25,7%
Total	4 660 987	5 778 947	6 240 266	33,9%

La présence accrue des cervidés s'explique entre autres par les hivers plus doux qui favorisent la survie des individus, par l'intensification de l'exploitation forestière qui crée des habitats favorables et par une réduction de la chasse (Bellefeuille et Poulin, 2004; Peltier, 2012).

À ce titre, une étude réalisée pour le compte du MTMDET en 2012 (Peltier, 2012) révèle que les populations d'orignaux ont presque doublé depuis les dix dernières années, alors que celles des cerfs de Virginie se sont plus que dupliquées. Le seuil optimal de 5 cerfs/km² est même dépassé dans trois régions administratives. Il s'agit d'une croissance préoccupante, puisque 99 % des accidents de la route qui impliquent la grande faune sont causés par les cervidés. Plus précisément, les orignaux sont responsables de 9 % des accidents et causent des blessures ou le décès des passagers dans 34 % des cas. Les cerfs de Virginie sont responsables de 90 % des accidents, dont seulement 4 % causent des blessures. Dans le cas des cerfs, il s'agit plus souvent de dommages aux véhicules que de blessés graves par rapport aux orignaux qui sont plus dommageables à cause de leur grande taille. Les autres collisions sont dues à la présence d'ours noirs et de caribous sur les chaussées. (Peltier, 2012)

Ces deux constats additionnés mènent inévitablement à l'augmentation des risques de collision avec la grande faune (Peltier, 2012), ce qui a comme conséquences des coûts économiques et sociaux élevés.

3.2.3. Collecte de données

Malgré l'influence négative de la mortalité routière sur les populations animales, très peu de données sont rendues disponibles pour les espèces qui ne présentent pas de risque pour les humains en cas de collisions (Gratton, 2014). Le MTMDET collige certaines données par l'entremise de ses patrouilleurs qui identifient les animaux morts sur les chaussées, mais cette démarche n'est pas encadrée uniformément dans la province et les résultats ne sont pas publiés (discussion personnelle, Jérôme Guay, MTMDET, 2017). De plus, il peut être ardu d'identifier la bonne personne ressource pour obtenir ces informations pourtant essentielles pour la conservation.

Des projets d'implication citoyenne sont également en développement au Québec afin de faciliter la collecte de données sur la mortalité routière, surtout pour la petite et moyenne faune. Ainsi, des applications sur téléphones intelligents permettent aux citoyens de localiser des carcasses animales sur les chaussées et de les identifier. Des projets similaires sont déjà effectifs aux États-Unis et les résultats sont impressionnants. Les citoyens se sentent concernés par la conservation des animaux et participent activement au projet. Des données sont rapidement collectées et offrent une nouvelle vision sur l'ampleur du phénomène de mortalité (Corridor appalachien, 2017). Ces informations servent ensuite à identifier les sections de routes dangereuses pour la faune qui tente d'y traverser.

3.2.4. Utilisation des données

Les données de mortalité routière sont très utilisées lors de la sélection de l'emplacement des passages fauniques. En effet, elles permettent d'identifier les *hotspots* de mortalité, qui correspondent aux endroits où la faune est principalement tuée. Cette méthode fera l'objet du chapitre 5 qui porte sur les enjeux et les défis des passages fauniques.

3.3. Importance des passages fauniques

Devant cet enjeu de sécurité routière et de mortalité de la faune, il est nécessaire de mettre des solutions de l'avant. Des mesures de mitigation doivent être prévues et installées. Ces infrastructures sont principalement des clôtures de confinement, ou d'exclusion, et des passages fauniques. En particulier, le choix de l'implantation des passages fauniques peut être motivé par plusieurs objectifs qui diffèrent selon les visions des professionnels impliqués dans les projets.

Dans un premier temps, au gouvernement du Québec, les passages fauniques sont principalement conçus dans le but d'améliorer la sécurité des usagers de la route en réduisant les risques de collision avec la grande faune (Bellefeuille et Poulin, 2004; Clevenger et Huijser, 2011; Gratton, 2014; Peltier, 2012). Le but est d'aménager des passages bien pensés, accompagnés de mesures de mitigation appropriées afin de réduire le nombre de victimes. La sécurité des usagers est d'ailleurs un argument puissant pour justifier l'investissement que demande ce type de projet auprès des gestionnaires responsables.

Dans un second temps, les passages fauniques ont pour objectifs de permettre le déplacement sécuritaire de la faune entre les habitats de part et d'autre des routes et de favoriser la connectivité du territoire (Glista, DeVault et DeWoody, 2009). Les passages aident également la faune à faire face aux perturbations et aux changements climatiques en facilitant leur dispersion sur le territoire (Clevenger et Huisjer, 2011). Dans cette situation, les passages fauniques sont considérés comme une solution pour la conservation des écosystèmes et pour la viabilité des populations en réduisant la mortalité routière et en permettant le libre passage de la faune (Bellefeuille et Poulin, 2004).

Ces deux objectifs sont complémentaires et tous les arguments devraient être étudiés lors de la conception de passages pour la faune.

3.4. Types de passages fauniques

Il existe deux grandes catégories de passages fauniques : les passages supérieurs et les passages inférieurs. Chacun possède ses avantages et ses inconvénients tout en répondant à des besoins diversifiés pour la faune. Dans ces catégories, les passages peuvent être spécifiques, c'est-à-dire qu'ils sont aménagés pour la faune seulement. Ils peuvent également être mixtes en offrant un accès pour les usages humains, tels que des pistes de randonnée pédestre ou de vélo, en plus de permettre le déplacement de la faune. (Gratton, 2014)

3.4.1. Passages supérieurs

Les passages supérieurs sont conçus pour enjamber les routes et peuvent convenir à plusieurs espèces, dépendamment de l'aménagement prévu. Leur construction ne dépend pas de réfection de routes ou de nouvelles infrastructures autoroutières : ils peuvent être ajoutés au réseau existant, ce qui constitue un atout considérable.

Bien qu'il n'y en ait encore aucun au Québec, il existe plusieurs modèles qui s'appliquent selon les contextes et les espèces animales ciblées. Ainsi, les passages supérieurs se composent de ponts verts, de passerelles fauniques, de passerelles multiusages et de passage en canopée (Clevenger et Huijser, 2011; Gratton, 2014).

Pont vert

Les ponts verts, aussi connus sous le terme d'écoducs en Europe, sont les passages les plus imposants. En effet, il s'agit d'une infrastructure large de 70 à 100 mètres, ce qui permet d'y installer des aménagements complets et qui répondent à plusieurs besoins de la faune. Ils sont spécifiques et sont utilisés pour le déplacement des animaux ainsi que pour l'utilisation des ressources et des habitats qui y sont aménagés. (Clevenger et Huijser, 2011)

Le principal avantage de ce passage relève justement de cette largeur qui permet de recréer un milieu naturel hétérogène. Il s'agit d'une infrastructure qui peut accueillir toute la faune, que ce soit des mammifères terrestres, semi-aquatiques ou semi-arboricoles, des oiseaux, des amphibiens et des reptiles. Des mares peuvent y être installées de même que des boisés stratifiés ou encore des milieux ouverts. (Clevenger et Huijser, 2011)

Pour être efficaces, les ponts verts doivent s'incruster dans le paysage. La faune doit avoir l'impression de traverser un milieu naturel plutôt qu'un passage faunique. En plus de diversifier les habitats, la topographie du site doit être hétérogène, les abords du pont doivent être aménagés afin de réduire le bruit des voies de circulation et d'atténuer la lumière des phares. De plus, les extrémités du passage doivent guider la faune vers le pont par la plantation stratégique d'arbres et d'arbustes, l'aménagement doit être similaire à l'environnement. Le choix des végétaux devrait se faire selon les espèces indigènes retrouvées à proximité

du site et résistantes aux conditions difficiles des abords de route. Il est également à prévoir d'installer des structures qui limitent l'accès du pont aux usagers, car le passage est plus efficace sans présence humaine, qui souvent éloigne la faune. (Clevenger et Huijser, 2011)

Ce type de passage faunique est idéal pour desservir de vastes territoires naturels dont la protection est assurée à perpétuité. De plus, il est plus simple de le construire dans un endroit avec un fort dénivelé ou situé dans une vallée. Il est suggéré que de cette façon, les animaux ne perçoivent pas le changement d'environnement en franchissant des pentes accentuées. (Clevenger et Huijser, 2011)

Enfin, une fois mis en place et lorsque les végétaux sont bien implantés, le passage ne nécessite qu'un entretien minimal. Il suffit de toujours s'assurer que les humains restent loin de cet aménagement conçu uniquement pour la faune.

Passerelle faunique

Les passerelles fauniques sont très similaires aux ponts verts. Ces passages sont cependant moins larges (entre 40 et 70 mètres) et sont habituellement légèrement moins aménagés (Figure 3.1). Ils sont spécifiques à la faune et conçus pour le déplacement et la dispersion des animaux. Ainsi, ils conviennent à la grande faune ainsi qu'à la petite et moyenne faune. Des aménagements supplémentaires peuvent favoriser la traversée des reptiles et parfois même des amphibiens et des mammifères semi-aquatiques, car l'installation de mares y est possible. (Clevenger et Huijser, 2011)

La végétalisation des passerelles est importante. Les efforts sont mis davantage sur les arbustes et les herbacées indigènes et qui résistent aux conditions difficiles. L'objectif n'est pas de représenter les habitats naturels environnants, puisque cette infrastructure ne sert que pour le déplacement de la faune. C'est pourquoi il est judicieux d'installer ces passages dans la lignée des corridors de migration réels des espèces cibles.

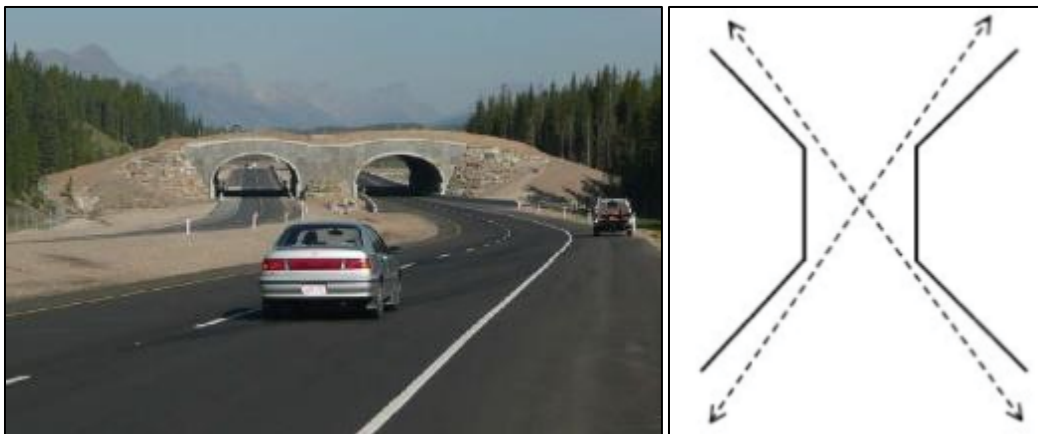


Figure 3.1. Design des ouvertures en arche parabolique (tiré de : Clevenger et Huijser, 2011, p. 103 et 105)

D'un point de vue technique, il est important de privilégier le design d'arche parabolique. Cette forme offre une bonne vision à la faune, ce qui les incite à s'engager sur les passerelles (Figure 3.1). (Clevenger et Huijser, 2011)

Passerelle multiusage

La passerelle multiusage ressemble à la passerelle faunique, mais elle est adaptée pour que l'humain puisse aussi en faire usage. À cet effet, le passage est plus étroit (entre 10 et 25 mètres). Ces infrastructures sont construites en milieux principalement urbanisés et permettent de faire un compromis entre le déplacement de la faune et l'utilisation du territoire par les résidents. Dans ce type de passage, ce ne sont pas toutes les espèces qui sont ciblées. En effet, plusieurs animaux sont rebutés par la présence humaine et n'utiliseront pas le passage si des activités anthropiques se déroulent à proximité. Ainsi, il faut prévoir ce passage pour les animaux tolérants, ou moins sensibles à la présence humaine, tels que les petits mammifères, la faune urbaine, les cerfs de Virginie, les coyotes et les renards. (Clevenger et Huijser, 2011)



Figure 3.2. Passerelle multiusage (tiré de : Clevenger et Huijser, p. 110)

Pour être efficace, le passage devrait être aménagé de façon à ce que les animaux ne circulent pas directement aux mêmes endroits que les humains (Figure 3.2). Un espace végétalisé d'un côté et un passage piétonnier de l'autre peuvent être une bonne option. (Clevenger et Huijser, 2011)

Passage en canopée

Le dernier modèle de passage supérieur s'adresse tout particulièrement aux espèces arboricoles et semi-arboricoles. Les passages en canopée ont comme objectif de relier deux massifs forestiers par les airs, en offrant une infrastructure simple qui raccorde les canopées de chaque côté (Figure 3.3.). (Clevenger et Huijser, 2011)



Figure 3.3. Passage en canopée (tiré de : Clevenger et Huijser, p. 116)

Afin de rendre le passage efficace et sécuritaire, il est astucieux de prévoir des abris contre les oiseaux de proie et d'installer des cordages qui facilitent le déplacement. Bien qu'intéressantes, ces installations sont plutôt rares en Amérique du Nord. Elles semblent mieux adaptées aux espèces des forêts tropicales.

3.4.2. Passages inférieurs

Les passages inférieurs sont conçus pour passer sous les routes. Ce sont les plus utilisés au Québec, puisqu'ils peuvent facilement être aménagés à partir de structures existantes ou à faible coût lors des réfections de routes (Bédard et al., 2012; Gratton, 2014). Les passages inférieurs se composent des viaducs pour la grande faune, de passages inférieurs spécifiques, de passages multiusages, de passages aménagés avec les cours d'eau, de ponceaux modifiés et de ponceaux secs.

Viaduc pour la grande faune

Il s'agit du plus grand passage inférieur pour la faune (Figure 3.4). Ce type de passage est principalement construit avec l'objectif initial d'enjamber un cours d'eau ou un milieu humide et permet du même coup à toute la faune de circuler, moyennant quelques aménagements. Pour ce faire, de la végétation et des abris peuvent être installés pour protéger les petits mammifères des prédateurs. Des milieux humides peuvent aussi être préservés ou restaurés pour les mammifères semi-aquatiques, les amphibiens et les reptiles. (Clevenger et Huijser, 2011)

L'avantage de cette infrastructure est qu'elle ne divise pas le territoire et offre une continuité avec le milieu naturel. La construction d'un viaduc peut également être moins dommageable lorsque bien planifiée en limitant la destruction des habitats. (Clevenger et Huijser, 2011)



Figure 3.4. Viaduc pour la faune (tiré de : Clevenger et Huijser, p. 119)

Afin de garantir une efficacité optimale, il est nécessaire de mettre en place des mesures pour restreindre l'accès aux humains, été comme hiver. De plus, il faut prévoir un entretien minimal de la végétation, principalement à la suite des travaux de construction. (Clevenger et Huijser, 2011)

Passage inférieur pour la grande faune

Au Québec, ce type de passage sert principalement au déplacement des orignaux, en plus d'être accessible aux autres espèces. Cet aménagement est moins large que le viaduc, mais celui-ci est construit spécifiquement pour le passage de la faune. (Clevenger et Huijser, 2011)

Pour être efficace, il faut prévoir une ouverture suffisante pour s'assurer que l'animal ait une bonne vision de l'environnement situé de l'autre côté du passage. Une structure de six mètres de largeur et de deux mètres de hauteur est normalement amplement suffisante pour la faune québécoise (Bédard et al., 2012). Dans l'Ouest canadien, les ouvertures doivent être plus larges et plus hautes pour qu'ils soient fréquentés (Clevenger, 2012). Une différence comportementale est suggérée pour expliquer cet écart entre les deux régions (discussion personnelle, Éric Alain, MTMDET, 2017).

Les abords des structures doivent être invitants et aménagés de façon à représenter le milieu naturel ambiant. Il est également conseillé de privilégier les aménagements qui fournissent un couvert végétal intéressant pour la petite et moyenne faune, ce qui leur permet de s'abriter contre les prédateurs.

Passage inférieur multiusage

Ce type de passage n'est pas recommandé pour le déplacement des espèces sensibles à la présence humaine, mais peut être utile dans les endroits fréquentés par les piétons et les cyclistes (Figure 3.5). La structure est similaire à celui des passages inférieurs pour la grande faune, c'est plutôt l'aménagement qui varie. Les espèces habituées aux habitats urbains pourront les utiliser. (Clevenger et Huijser, 2011)



Figure 3.5. Passage inférieur multiusage (tiré de : Clevenger et Huijser, p. 133)

Il est suggéré de végétaliser une section sous le passage afin de délimiter les zones prévues pour le passage de la petite et moyenne faune. De cette façon, les humains n'empiètent pas dans tout l'espace.

Toutefois, l'utilisation fréquente du passage par des véhicules à moteur devrait être prohibée. Une utilisation peu fréquente peut parfois être tolérée. (Clevenger et Huijser, 2011)

Passage inférieur avec un cours d'eau

Ces passages sont très fréquents au Québec, puisqu'il est simple de les ajouter aux aménagements autoroutiers déjà présents ou prévus. En effet, la plupart des grands cours d'eau sont déjà surplombés par des ponts (Figure 3.6). Il suffit alors d'adapter l'installation pour y permettre à la fois le passage de l'eau et le passage de la faune. Pour ce faire, un pied sec peut être installé à proximité du cours d'eau. L'espace de circulation doit être prévu pour toute la longueur du cours d'eau et détenir une largeur minimale de 50 cm (Bédard et al., 2012). L'espace doit idéalement être constitué d'un empierrement relativement égal par rapport au sol, ce qui lui assure de résister aux variations du niveau de l'eau et facilite la traversée des animaux (Bédard et al., 2012).



Figure 3.6. Passage inférieur avec un cours d'eau (inspiré de : Sépaq, 2013)

L'efficacité de ce passage peut être maximisée par la végétalisation des pourtours et par le maintien des habitats riverains (Gratton, 2014).

Ces passages sont très fréquentés par la faune, car plusieurs espèces se déplacent en suivant les tracés hydrologiques et plusieurs n'apprécient pas de se déplacer directement dans l'eau. Le passage terrestre fait alors toute la différence (Figure 3.7). En plus de son efficacité, l'aménagement de ces passages est peu coûteux (Bédard et al., 2012) et ne demande pas beaucoup d'entretien (Clevenger et Huijser, 2011).

Ponceau modifié

Les ponceaux sont abondants sur le réseau routier. Leur utilité est de faire circuler l'eau à des endroits précis afin d'éviter d'abîmer les infrastructures routières. La faune les utilise régulièrement et encore davantage lorsque de petites modifications leur sont apportées à très faible coût (Figure 3.7). Un pied sec de 50 cm de large peut être ajouté dans une structure existante lorsque la largeur du ponceau le permet. Si le contexte hydraulique du ponceau ne permet pas d'ajouter un pied sec, il est possible d'installer un porte-à-faux. Ceci s'apparente à une étagère ajoutée sur le côté du ponceau. (Bédard et al., 2012)

Ponceau sec

Les ponceaux secs représentent les plus petits passages et ils ne s'adressaient au départ qu'à la petite et moyenne faune. En réalité, plusieurs espèces insoupçonnées les utilisent. La preuve : une caméra du MTMDET a déjà filmé un ours noir en train d'en traverser un (Éric Alain, discussion personnelle, 2017). Ce sont essentiellement des tuyaux, pour la plupart en béton armé (TBA) de 600 à 900 millimètres de diamètre (Bédard et al., 2012). Ils sont particulièrement efficaces lorsqu'ils sont intégrés dans l'environnement à l'aide de végétation et qu'ils sont installés à proximité de ponceaux d'écoulement de l'eau (Figure 3.7) (Bédard et al., 2012). Ils sont également faciles à installer à faible coût (Bédard et al., 2012).



Figure 3.7. Exemples de passages pour la petite faune installés le long de la route 175 dans la réserve faunique des Laurentides : A) Aménagement du lit inférieur B) Ponceau modifié, pied sec C) Porte-à-faux dans un ponceau existant D) Porte-à-faux dans un ponceau modifié E) Ponceau sec, TBA F) Muret troué pour la petite faune (tiré de : Bédard et al., 2012, p. 68)

3.4.3. Mesures de mitigation accessoires

Les mesures de mitigation se définissent comme des moyens alternatifs d'empêcher la faune d'accéder aux voies de circulation et qui, de ce fait, réduisent les collisions avec les usagers de la route (Bellefeuille et Poulin, 2004). Il s'agit de solutions pour contrer la mortalité routière. Pour ce faire, les mesures de mitigation se divisent en trois catégories.

La première consiste à éloigner les animaux de la route en installant des clôtures d'exclusion (Bellefeuille et Poulin, 2004). L'efficacité de cette méthode à réduire les collisions avec la grande faune a été démontrée à plusieurs reprises (Bédard et al., 2012; Clevenger, 2012; Jaeger et al., 2017). Pour être optimales, les clôtures doivent mesurer 2,4 mètres de hauteur et être constituées de mailles de 30 cm X 18 cm (Gratton, 2014). Cette largeur ne restreint pas l'accès de la petite et moyenne faune à la route, mais des clôtures additionnelles peuvent être installées à la base de clôtures à grande faune là où c'est nécessaire. Cette petite clôture ne devrait pas dépasser 90 cm de hauteur et devrait être enfouie suffisamment pour éviter que les animaux se fauillent par-dessous (Bédard et al., 2012).

Les clôtures devraient toujours être accompagnées de passages fauniques afin de ne pas contribuer à la fragmentation du territoire. Elles doivent guider l'animal qui la rencontre vers un passage sécuritaire. Par exemple, les clôtures à petite et moyenne faune sont souvent installées sur une longueur de 100 mètres de chaque côté d'un passage faunique afin de s'assurer que la faune le rencontre et l'utilise (Bédard et al., 2012).

De plus, il est important de prévenir l'effet de bout, qui consiste à observer une augmentation des collisions avec la grande faune à la fin de la zone clôturée. Pour éviter ce phénomène, il suffit de prolonger la clôture vers l'intérieur des terres, et ce, sur une distance minimale de 100 mètres. Ainsi, les animaux qui ont tendance à suivre la clôture ne traverseront pas directement à la fin de celle-ci. (Gratton, 2014, discussion personnelle, Martin Lafrance, MTMDet, 2017)

Enfin, il peut être nécessaire d'installer des passages routiers anti-cervidés lorsqu'il est impossible de maintenir une clôture fermée en tout temps. Aussi, toute clôture doit être accompagnée de sortie d'urgence pour la faune qui se serait introduite par erreur sur la chaussée. Ces sorties à sens unique permettent d'évacuer facilement les animaux se trouvant du mauvais côté. (Bellefeuille et Poulin, 2004; Gratton, 2014)

La deuxième catégorie de mesures de mitigation vise à modifier le comportement des animaux. Un premier exemple est la méthode des réflecteurs. Le principe est d'installer des réflecteurs de lumière en bordure de route, dirigés vers les milieux naturels adjacents. L'objectif est de recréer le comportement des animaux face aux phares de voiture qui causent des collisions, puisque la plupart figent et se font frapper. Les réflecteurs ont alors pour effet de faire figer la faune loin des routes. (Bellefeuille et Poulin, 2004; Glista et al., 2009)

La réduction de l'utilisation d'abrasifs à base de sels minéraux est aussi une mesure pour modifier le comportement des animaux qui fréquentent les abords de routes avec pour objectifs de combler leur besoin en sels. Il en est de même des bassins de rétention des eaux de ruissellement. Ceux-ci peuvent être clôturés et installés à une distance suffisante de la route pour éviter d'y attirer la faune. (Bellefeuille et Poulin, 2004)

Les passages fauniques sont également considérés comme modifiant le comportement de la faune qui les emprunte (Glista et al., 2009). Il a d'ailleurs été démontré que la faune s'habitue à ces infrastructures et les insère dans ses corridors de déplacements. À titre d'exemple, des femelles ont été observées dans des passages fauniques de Banff avec leurs petits, qui ont par la suite continué de les utiliser à leur tour. (Clevenger, 2012)

La dernière catégorie est destinée aux mesures qui modifient le comportement des usagers de la route. Parmi celles-ci se trouvent les panneaux de signalisation qui annoncent la présence accrue de la faune dans le secteur concerné, ce qui est très fréquent au Québec. Des mesures de réduction du trafic peuvent aussi être utilisées et la vitesse peut être réduite dans les zones à risque. Des lumières peuvent être ajoutées. Il existe également des détecteurs d'animaux sur les chaussées reliés à des panneaux de circulation pour les usagers de la route. Les automobilistes sont alors plus alertes, ce qui réduit les risques de collision. (Bellefeuille et Poulin, 2004; Clevenger et Huijser, 2011; Glista et al., 2009)

3.5. Exemples d'ici et d'ailleurs

Afin d'illustrer la pertinence d'implanter des passages fauniques, des exemples de projets mis en place en Amérique du Nord sont présentés.

3.5.1. Exemple américain

Tel que mentionné précédemment, les États-Unis ont construit leur tout premier passage faunique en 1955. Ce dernier était destiné au passage de l'ours noir en Floride et il s'agissait d'un passage souterrain. Il a cependant fallu attendre jusqu'en 1975 pour que de nouveaux projets se développent, notamment par la construction du premier passage supérieur installé au-dessus de l'autoroute 15, dans l'Utah. (Clevenger et Huisjer, 2011)

Un bel exemple récent de réussite d'un projet de passages fauniques est le chantier de l'autoroute 9, dans l'état du Colorado. Le Département des Transports du Colorado, en partenariat avec le Colorado Parks and Wildlife et d'autres partenaires impliqués, a mis sur pied un important projet de passages fauniques sur un tronçon de 17 km de l'autoroute 9, qui relie les Kremmling au Green Mountain Reservoir. La sécurité routière y était compromise par de nombreuses collisions avec la grande faune (35 % des accidents), principalement avec des cerfs et des wapitis. Les collisions y étaient fréquentes puisqu'il s'agit d'une route très achalandée qui divise un important territoire naturel, offrant des habitats et servant de corridors de déplacement et de site d'hivernage. L'objectif principal du projet était alors d'améliorer la sécurité des usagers de la route tout en permettant le passage de la faune. (Colorado Parks & Wildlife, 2017)

Pour ce faire, un important complexe de passages fauniques a été développé. Ainsi, les 17 km de route sont maintenant traversés par deux passages supérieurs et de cinq inférieurs, de clôtures hautes de 2,4 mètres accompagnées de 62 rampes d'évasion ainsi que de neuf passages pour piétons. Le projet est une réussite. Dès la première année, alors qu'il manquait encore des installations, il s'est observé une réduction de 90 % des collisions entre les véhicules et la faune. De plus, la présence de plusieurs espèces initialement non visées par les structures a été relevée par les caméras installées à proximité des passages. (Colorado Parks & Wildlife, 2017)

Les dernières phases du projet ont été complétées en 2017. Les gestionnaires du projet planifient le suivi des installations à long terme et sont satisfaits des résultats obtenus. Il s'agit d'un excellent modèle de projet bien planifié, qui inclut les différentes parties prenantes et qui permet d'atteindre les objectifs, soient de réduire les accidents de la route ainsi que la mortalité routière. (Colorado Parks & Wildlife, 2017) D'autres impacts positifs sont probablement présents comme la consolidation génétique mais n'ont pas fait l'objet de suivis jusqu'ici.

3.5.2. Passages supérieurs à Banff

Le Canada a fait preuve d'innovation en 1978 par l'intégration de passages fauniques dans l'agrandissement de l'autoroute Transcanadienne, qui traverse le parc national de Banff en Alberta (Clevenger, 2012). Les gestionnaires de l'époque ont planifié en amont des travaux qu'il serait nécessaire de favoriser le passage de la faune qui est abondante dans cette région. Pour ce faire, ils ont prévu la construction de passages inférieurs et supérieurs. Une grande variété de passages et de mesures de mitigation ont été pensés et intégrés dans toutes les phases de construction de ce chantier majeur. Il s'agit d'un projet précurseur en écologie routière qui a servi d'exemple à travers le monde.

Le projet consistait initialement à élargir l'autoroute Transcanadienne de deux à quatre voies, ce qui représentait une menace pour la faune et pour la biodiversité. Il a permis non seulement d'expérimenter différentes solutions pour favoriser le passage de la faune, mais aussi de collecter des données biologiques depuis maintenant plus de vingt ans.

Ces données permettent aujourd'hui de mieux comprendre les déplacements de la faune à long terme. Elles offrent un suivi inégalé de la faune, ce qui permet entre autres de comparer les préférences des espèces pour les passages inférieurs ou pour les passages supérieurs. Elles permettent également de prendre connaissance du temps nécessaire pour que les espèces visées s'adaptent aux infrastructures et les intègrent dans leur routine de déplacement. (Clevenger, 2012)

Au total, une trentaine de passages inférieurs ont été aménagés de même que six passages supérieurs. La route a également été clôturée sur une hauteur de 2,4 m (Clevenger, 2012). Tous ces efforts en auront valu la peine, puisque les collisions avec les grands mammifères ont été réduites de plus de 80 %, dont 94 % de moins avec les cervidés (Gratton, 2014).

Les données amassées dans le cadre du suivi de la faune continueront d'enrichir la science de l'écologie routière pour de nombreuses années. Le projet s'inscrit aussi parmi les plus innovants au pays en matière de chantier routier visant la protection de la faune. Il a également permis aux gestionnaires et aux organismes d'apprendre des erreurs et des défis rencontrés dans le projet. (Clevenger, 2012)

3.5.3. Réfection de la route 175, Québec

Le premier grand projet québécois de réfection de route à intégrer des passages fauniques s'est déroulé dans la région de la Capitale-Nationale, sur la route 175 qui relie la ville de Québec au Saguenay-Lac-Saint-Jean. La route d'une largeur de deux voies à l'époque était de plus en plus fréquentée et devait être élargie afin d'améliorer la sécurité des usagers. Toutefois, la route traverse la réserve faunique des Laurentides, où l'abondance des orignaux est élevée. Il y avait alors un enjeu de sécurité, notamment à cause des risques de collision avec la grande faune, mais aussi de conservation et de connectivité des habitats.

Les mesures de mitigations ont été réfléchies et intégrées à la conception du chantier. Ce fut une première au Québec et de nombreux professionnels (chercheurs en écologie routière, architectes du paysage, urbanistes, ingénieurs, entrepreneurs, biologistes, techniciens de la faune) ont collaboré afin de réaliser ce projet d'envergure. Aujourd'hui, ce sont plus de 33 passages à petite et moyenne faune et 6 passages à grande faune qui ont été installés. Les résultats sont positifs, puisqu'il s'est observé une réduction significative des collisions avec la grande faune, plus précisément avec les orignaux, et tous les passages sont utilisés (Gratton, 2014). Toutefois, les passages à petite faune ont été moins efficaces que prévu, car plusieurs espèces sont encore victimes de mortalité routière, mais tout de même les passages sont fréquentés (Gratton, 2014).

Affectueusement appelé le terrain-école, ce grand chantier a permis de tester des méthodes de sélection des emplacements des passages, d'essayer différents modèles de clôtures et d'aménagements, avec différents matériaux. Cette expérience a permis d'améliorer les pratiques de l'écologie routière au Québec et sert aujourd'hui d'exemple pour d'autres projets.

Plusieurs initiatives menées par le MTMDET sont en cours, notamment sur les autoroutes 20, 30, 55, 85 et 410 (Gratton, 2014). L'installation de passages fauniques sur les routes semble devenir une mesure de plus en plus appliquée par les gestionnaires du territoire de la province, car les bénéfices sont maintenant bien documentés et reconnus.

4. LÉGISLATION

Ce chapitre décrit d'abord les législations fédérale et provinciale applicables aux passages fauniques du Québec. Ensuite, les outils urbanistiques utilisés pour favoriser la connectivité du territoire et l'implantation de passages pour la faune sont présentés. Enfin, des exemples de cas illustrent l'application innovante de cadres législatifs qui ont permis de favoriser le déplacement de la faune sur le territoire.

4.1. Lois et règlements de juridictions fédérale et provinciale

Les juridictions fédérale et provinciale ne prévoient pas de législation spécifique aux passages fauniques. Toutefois, certains outils législatifs et réglementaires peuvent être utilisés afin d'encourager leur implantation.

Juridiction fédérale

La Loi constitutionnelle de 1867 du Canada attribue au gouvernement canadien la compétence sur la gestion des pêcheries. Ceci implique que le gouvernement canadien peut légiférer afin de protéger la faune ichtyologique, ce qui implique son habitat et ses ressources alimentaires. De plus, la Loi sur les espèces en péril offre une protection aux espèces désignées et donne du pouvoir au gouvernement (*Loi sur les espèces en péril*). Enfin, par l'entremise d'accords internationaux, le Parlement canadien a des compétences sur les oiseaux migrateurs. Il s'agit des principales compétences fédérales directement associées à l'environnement et à la biodiversité. Tout ce qui a trait aux ressources naturelles, outre le poisson, ainsi qu'à l'administration des terres publiques et des forêts relèvent de la responsabilité des provinces.

Cette distribution des pouvoirs limite l'implication fédérale dans l'implantation des passages fauniques au pays. Cependant, le Canada détient la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale. Cette dernière permet au gouvernement de demander des autorisations pour certains projets ayant des effets importants sur l'environnement. Le processus d'autorisation s'applique dans le cas de construction de nouvelles voies publiques qui nécessitent 50 km ou plus de nouvelle emprise (*Règlement désignant les activités concrètes*). Dans cette situation, le gouvernement fédéral peut exiger des mesures de compensation et formuler des demandes additionnelles de la protection de la faune, telles que l'implantation de passages fauniques.

Juridiction provinciale

La fonction publique est soumise à la Loi sur le développement durable (*Loi sur le développement durable*). Dans le cadre des passages fauniques, deux de ces principes s'appliquent :

« *Protection de l'environnement* : pour parvenir à un développement durable, la protection de l'environnement doit faire partie intégrante du processus de développement;

Préservation de la biodiversité : la diversité biologique rend des services inestimables et doit être conservée au bénéfice des générations actuelles et futures. Le maintien des espèces, des écosystèmes et des processus naturels qui entretiennent la vie est essentiel pour assurer la qualité de vie des citoyens. » (*Loi sur le développement durable*)

Plus concrètement, ces principes obligent les différents ministères à considérer les impacts de leurs projets sur l'environnement et la biodiversité. Pour le MTMDET, ceci implique indirectement de protéger la faune lors de la construction ou du réaménagement des routes. Il s'agit d'un outil important mis à la disposition des fonctionnaires pour convaincre les gestionnaires d'intégrer des passages fauniques aux projets. D'ailleurs, des initiatives du MTMDET ont permis d'installer de nombreux passages fauniques à travers la province, notamment pour réduire les taux d'accidents. L'intérêt des fonctionnaires (professionnels, techniciens et ingénieurs) et la volonté politique constituent de bons moteurs, en accord avec la loi, à l'intégration de passages pour la faune.

Ensuite, la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune (LCMVF), administrée par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), peut également servir de moyen pour favoriser les passages fauniques (*Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune*). En effet, une autorisation doit être obtenue lorsqu'une activité est susceptible de modifier un habitat faunique tel que défini dans le Règlement sur les habitats fauniques (*Règlement sur les habitats fauniques*). Le MFFP peut alors exiger des mesures compensatoires en vertu du système d'autorisation de la LCMVF, lorsque des habitats fauniques sont en jeux.

Le MDDELCC peut également utiliser les systèmes d'autorisation que lui prévoient les articles 22 et 32 de la Loi sur la qualité de l'environnement (*Loi sur la qualité de l'environnement*). Le ministère peut exiger des mesures d'atténuation ou de compensation des impacts pour les projets concernés. Le cas de la rainette faux-grillon de l'Ouest est un exemple où le MDDELCC, via la LQE, a exigé au promoteur d'installer des passages pour les amphibiens là où il y avait un enjeu important pour le maintien de cette espèce désignée vulnérable (communication personnelle, MFFP, 2018).

Dans une autre mesure, le Bureau des audiences publiques du Québec (BAPE) pourrait aussi, dans le cadre d'une évaluation et examen des impacts d'un projet routier d'envergure, formuler des recommandations sur un projet spécifique, tel que d'implanter des passages fauniques. Cependant, il ne s'agit que de propositions.

4.2. Règlements municipaux et outils urbanistiques

Il existe plusieurs outils municipaux et urbanistiques qui peuvent être utilisés afin de faciliter la connectivité des milieux naturels, préserver les corridors de déplacement de la faune et prévoir l'implantation de passages fauniques. Toutefois, aucune de ces mesures n'est obligatoire en vertu de la loi.

D'abord, le premier niveau de pouvoir est détenu par les municipalités régionales de comtés (MRC). Celles-ci ont comme outil de planification le schéma d'aménagement et de développement (SAD) qu'elles élaborent et modifient ponctuellement. Ce document est le plus important du secteur municipal, puisqu'il établit les lignes directrices de l'organisation du territoire. Il reflète la vision des élus et fixe les priorités et les enjeux en matière d'aménagement et de développement. Surtout, le SAD permet de gérer le territoire à l'échelle du paysage et d'avoir une vision d'ensemble du milieu. La Loi sur l'aménagement et l'urbanisme prévoit plusieurs possibilités quant à la protection de l'environnement et des milieux naturels qui peuvent être inclus dans les SAD. Entre autres, le document doit déterminer les grandes affectations des sols et la vocation du territoire (ex. agriculture, forêt, industrie, etc.). Les MRC y prévoient également les secteurs où l'expansion urbaine est permise et identifie les contraintes du milieu naturel (ex. falaise, pentes fortes, milieux humides). De plus, elles ont le pouvoir de prévoir la protection de l'environnement et de contrôler la qualité de l'environnement en désignant des zones particulières (ex. protection des habitats fauniques, corridors fauniques, etc.). Elles peuvent également mettre en valeur les milieux naturels d'intérêts. Ces mesures signifient que les MRC ont un réel pouvoir sur la protection des milieux naturels d'intérêts écologiques et peuvent mettre en place des moyens pour les conserver. (*Loi sur l'aménagement et l'urbanisme* ; Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire, 2010b)

Les municipalités doivent respecter le SAD de leur MRC au moyen de leur plan d'urbanisme et de leurs règlements (zonage, lotissement) dans lesquels doivent se refléter les principes et les orientations établis. Dans un premier temps, le plan d'urbanisme représente pour une municipalité ce que le SAD est pour une MRC. Il s'agit d'un document essentiel dans lequel la municipalité affirme sa vision et ses orientations d'aménagement et de développement de son territoire. Il s'agit d'un appareil de planification puissant qui dicte les lignes directrices de la municipalité et c'est sur quoi s'appuient les autres outils d'urbanisme. Il assure une cohérence dans les décisions et permet aux citoyens de comprendre les directions prises par la municipalité. Le plan d'urbanisme doit inclure les grandes affectations des sols ainsi que les grandes orientations d'aménagement du territoire. Il peut également inclure les zones à protéger ou à restaurer. Il s'agit d'un outil important dans une optique de connectivité du territoire et de conservation de corridors fauniques, puisque la municipalité peut y faire valoir son désir de préserver certains secteurs et d'y restreindre le développement. (Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire, 2010a)

Pour appliquer son plan d'urbanisme, une municipalité doit élaborer des règlements. Les plus déterminants sont les règlements de zonage et de lotissement. La municipalité peut inclure des conditions, des exigences ou des restrictions quant à la densité d'occupation, à l'utilisation du sol ou à la construction de nouvelles infrastructures.

Bien que ces outils ne ciblent pas directement les passages fauniques, ils peuvent être utilisés afin de favoriser la protection du territoire et le déplacement de la faune.

4.3. Exemples de cas

Certaines municipalités du Québec innovent et utilisent les outils réglementaires de manière à protéger vigoureusement l'environnement sur leur territoire. C'est le cas notamment de la Ville de Granby et de la municipalité d'Austin.

Ville de Granby

La ville de Granby est située à 80 km de Montréal en Montérégie et détient une population d'un peu plus de 66 000 personnes. Seulement 13 % du territoire est constitué de forêt alors que l'agriculture occupe 44 % de l'espace disponible. La ville connaît un fort accroissement ainsi qu'une demande soutenue pour la construction de nouveaux logements et d'ensembles résidentiels. (Ville de Granby, 2016)

La ville abrite également sur son territoire des parcs forestiers d'intérêts écologiques qui sont protégés au plan d'urbanisme par une occupation du territoire spécifique : les aires de parcs et espaces verts. Seulement 2 % du territoire détient cette affectation. (Ville de Granby, 2016) Des relevés fauniques réalisés dans le boisé Miner ont démontré la présence de plusieurs espèces, dont notamment le porc-épic, le coyote, le cerf de Virginie et le renard (Laliberté, 2016). Or, les zones résidentielles sont présentes dans ce secteur et mettent de la pression sur ces écosystèmes.

Pour pallier ce problème, la Ville a décidé d'agir et développe en ce moment un projet réglementaire qui obligerait l'installation de passages fauniques dans les nouveaux ensembles résidentiels (communication personnelle, Ville de Granby, 2018). Ce projet, qui a vu le jour en 2016, prévoit demander aux promoteurs d'intégrer des passages pour la faune dès la soumission de leurs plans (Laliberté, 2016; communication personnelle, Ville de Granby, 2018). La Ville compte se servir de son règlement de lotissement pour soumettre les projets à des études environnementales. Ainsi, avant de permettre de nouveaux lots d'habitations, chaque projet sera étudié au cas par cas afin de déterminer la pertinence ou non de le soumettre à l'étude environnementale. Selon le cas et selon le résultat de l'étude, des passages pourront être exigés. (Communication personnelle, Ville de Granby, 2018). À ce titre, même si les règlements municipaux n'en font pas encore mention, des passages pour la faune ont déjà été installés. Il s'agit essentiellement de ponceaux modifiés avec des porte-à-faux et des rampes de traverse (Laliberté, 2016).

La Ville a trouvé une solution pour favoriser le déplacement de la faune dans les parcelles forestières de son territoire. L'utilisation judicieuse de ses règlements lui donne toute la légitimité nécessaire pour agir de la sorte.

Municipalité d'Austin

La municipalité d'Austin se démarque au Québec par sa volonté d'intégrer les notions de développement durable dans sa gestion et sa réglementation. L'administration a su avec succès mettre les outils réglementaires aux profits de la protection de l'environnement et de la biodiversité.

Austin est une petite municipalité de l'Estrie composée d'environ 3500 résidents, dont 48,4 % sont permanents et 51,6 % sont saisonniers. La municipalité regorge de milieux naturels de grand intérêt écologique. On y retrouve de nombreux lacs, des milieux humides, dont une tourbière reconnue comme étant un milieu exceptionnel. Le territoire est essentiellement recouvert de forêt, se situe en partie dans le parc du Mont Orford et se trouve dans l'axe des Montagnes vertes de Corridor appalachien. (Municipalité d'Austin, 2016b)

Consciente de ses richesses naturelles, l'administration municipale confirme la valeur des écosystèmes de son territoire par son plan d'urbanisme dans lequel la première orientation se base sur le principe : « Un milieu naturel exceptionnel » (Municipalité d'Austin, 2016b). La prémisse de cette orientation va comme suit : « Pour préserver cette diversité biologique ainsi que les fonctions écosystémiques qui nous procurent des biens et services importants, on doit viser un équilibre entre la protection des milieux naturels et le développement du territoire. » (Municipalité d'Austin, 2016 b, p.12)

Afin de remplir son engagement, la municipalité a commencé par identifier les milieux naturels terrestres et aquatiques de son territoire et leur a attribué une valeur selon leurs caractéristiques. Cette étape essentielle lui a ensuite permis de considérer les biens et les services rendus par les écosystèmes et d'en estimer la capacité de support. Ces informations sont importantes afin de préserver ce qui doit l'être, de valoriser les milieux naturels et de planifier le développement durable de la municipalité. De plus, l'identification des milieux naturels permet de localiser les corridors naturels et de les protéger en contrôlant l'aménagement du territoire. C'est ce qu'a entrepris la municipalité, pour qui le maintien de la connectivité à l'échelle locale et régionale est primordial, de même que la santé de la biodiversité. Pour ce faire, la municipalité d'Austin utilise son plan d'urbanisme via les grandes affectations des sols qui ont pour rôle de spécifier la vocation des territoires. Ainsi, la municipalité a identifié tous les secteurs pouvant être favorables au déplacement de la faune et restreint les activités qui peuvent y avoir lieu en plus d'y contrôler la densité d'occupation permise. (Municipalité d'Austin, 2016b)

La municipalité considère que plusieurs affectations peuvent contribuer au maintien de la connectivité du territoire. L'objectif n'est pas d'empêcher le développement de la région ou de l'agriculture. Il s'agit plutôt d'intégrer la notion de connectivité dans l'aménagement du territoire et de l'inclure à tous les endroits où c'est pertinent. À titre illustratif, la connectivité faunique est incluse dans certaines aires agricoles, agroforestières, récréotouristiques de même que dans les aires résidentielles-villégiatures et rurales.

De plus, les zones à valeur écologique élevée sont considérées comme des zones de contrainte au développement. Ceci implique qu'il peut y avoir des restrictions, voir des interdictions d'occupation, dans ces secteurs. Les corridors naturels et les secteurs de connectivité en font partie.

Le plan d'action de la ville reprend les mêmes points que le plan d'urbanisme et prévoit des actions qui favorisent la sauvegarde des corridors fauniques (Municipalité d'Austin, 2016a).

Enfin, les règlements de zonage et de lotissement sont adaptés en fonction du plan d'urbanisme et permettent à la municipalité de respecter ses engagements en restreignant la coupe d'arbres, la densité d'occupation ainsi qu'en contrôlant les usages autorisés et l'aménagement des terrains. (Municipalité d'Austin, 2016b)

Outre les outils réglementaires, plusieurs initiatives peuvent être mises de l'avant, et ce, autant par des fonctionnaires que par des organismes de conservation ou par des municipalités et des initiateurs de projets. Il suffit de cibler les endroits où des problématiques sont rencontrées et de mettre en place les actions possibles en fonction des types de propriétés et des moyens disponibles.

5. ENJEUX ET DÉFIS

Mettre en place des passages fauniques peut être très stimulant et sembler efficace en facilitant le déplacement de la faune et en améliorant la connectivité des écosystèmes. Il s'agit de mesures concrètes qui permettent de répondre à plusieurs problématiques d'un seul coup, le tout moyennant des coûts acceptables. Or, malgré l'engouement qu'ils suscitent, les passages fauniques ne sont pas si simples à installer. De nombreux enjeux entourent ces infrastructures, et ce, de la planification du projet jusqu'à l'évaluation de son efficacité. Il est primordial de connaître ces défis afin de les intégrer aux réflexions initiales à l'élaboration des projets, l'objectif étant d'améliorer l'efficacité des infrastructures et de répondre aux problèmes justifiant leur implantation. Ce chapitre dresse une liste des principaux enjeux à considérer et offre une analyse pour chacun d'entre eux.

5.1. Obtenir la collaboration des parties prenantes

Un projet de passage faunique demande de nombreux efforts et des investissements de la part de plusieurs parties prenantes qui œuvrent dans des champs d'expertise diversifiés. Un défi souvent rencontré consiste à mettre ces personnes en communication et de les amener à partager leurs points de vue et leurs connaissances afin de s'assurer que les orientations et objectifs convergent dans la même direction. Un manque de compréhension vis-à-vis la vision d'un projet peut rapidement devenir une limite. Il est alors important de connaître les différentes parties impliquées, de comprendre leurs visions ainsi que leurs objectifs et de déterminer leurs rôles afin de favoriser leur collaboration. Voici un portrait des parties prenantes et leurs rôles respectifs.

Il y a d'abord l'instigateur du projet. Il peut s'agir du gouvernement, via le ministère des Transports (MTMDET), principal chargé des projets de passages fauniques au Québec. Au sein même du gouvernement, la collaboration de plusieurs corps de travail est nécessaire. Les ingénieurs doivent se référer aux biologistes, aux architectes paysagistes, aux techniciens, aux entrepreneurs externes, etc. afin de concevoir un projet efficace et adapté. Cette première étape comporte déjà des défis si l'on pense au sens des priorités et des décisions politiques qui se rattachent aux projets. En effet, les décideurs ne voient pas toujours l'utilité d'installer des passages fauniques ou encore, d'autres préoccupations peuvent être plus importantes pour eux. Il faut également que les gestionnaires soient enclins à mettre les passages fauniques au calendrier des travaux et à s'investir dans le projet dès sa conception.

De leur côté, les professionnels de la fonction publique font souvent face à des refus et doivent se heurter à de fausses idées et des préjugés par rapport aux projets dits environnementaux. Ils doivent alors savoir convaincre leurs supérieurs et faire valoir le bien-fondé des projets de passages fauniques avec un argumentaire bien documenté. D'ailleurs, certaines directions territoriales du ministère des Transports sont proactives en ce sens, alors que d'autres ne le sont pas. La volonté des fonctionnaires et l'ouverture de leurs supérieurs sont alors des éléments déterminants dans la réalisation des projets. Ainsi, il n'existe toujours pas d'obligation d'inclure des passages fauniques dans les réfections ou nouvelles constructions

routières, ce qui laisse beaucoup de place à la volonté des gestionnaires. Outre le ministère des Transports, les ministères de l'Environnement (MDDELCC) et de la Faune (MFFP) peuvent contribuer aux projets en donnant leurs avis, en collaborant de façon plus concrète sur le terrain et en fournissant des données. De plus, comme il en a été fait mention au Chapitre 4, certaines lois leur donnent l'opportunité d'exiger des mesures compensatoires et même des passages pour la faune dans certaines conditions.

Les municipalités sont également des partenaires importants, quand ils ne sont pas eux-mêmes les instigateurs du projet. Ces instances peuvent formuler des requêtes et participer activement lors de la planification du projet. Ils détiennent les connaissances de leur territoire et possèdent tous les outils nécessaires pour la planification à long terme.

Les organismes de conservation ont aussi un rôle important dans la sensibilisation du public, le développement de partenariat ainsi que la prise de données (Gratton, 2014) par des activités de science citoyenne notamment. Ils ont leur part d'influence dans ces projets, notamment en fournissant des connaissances et des données qu'elles colligent. Il est important d'inclure dans la planification les efforts de conservation réalisés sur le territoire par ces organismes afin d'obtenir une vision à long terme de l'aménagement du territoire. Surtout que la plupart des organismes travaillent à conserver des terrains privés à l'aide de fonds publics et privés, ce que les instances gouvernementales se sont désengagées à faire dans les dernières décennies. Or, ces terres privées sont tout aussi importantes pour les passages fauniques.

Les institutions universitaires participent également aux projets de passages fauniques en étudiant le territoire, en procédant à des collectes de données d'envergure et d'analyses poussées. Le défi que présente cette partie prenante est le temps nécessaire pour mener à terme les études, qui s'étire sur plusieurs années alors que les projets doivent être réalisés plus rapidement.

Enfin, la collaboration des parties prenantes est nécessaire pour l'amélioration des projets étant donné qu'elles ont toutes ce point de vue en commun qui est d'améliorer la sécurité des routes pour les utilisateurs ainsi que pour la faune.

5.2. Identification de la problématique

Le deuxième enjeu d'importance est de savoir identifier les zones où il y a un problème de sécurité pour les utilisateurs de la route de même que pour la faune. Les données de collision entre les véhicules et la grande faune constituent un bon indicateur pour ce qui est de la sécurité routière. En effet, ces données permettent de localiser les endroits où les collisions sont plus fréquentes. Rappelons que les collisions sont dues à plusieurs facteurs. Il peut s'agir d'un segment de route dangereux à cause des courbes ou d'éléments qui réduisent la visibilité des conducteurs. Elles peuvent aussi être expliquées par la présence de corridors naturels de déplacement, d'habitats particuliers en bordure de route ou d'éléments attractifs pour la grande faune, ce qui a pour effet d'augmenter les probabilités de collisions. Elles peuvent également s'expliquer

par des patrons d'activités spatio-temporels. Les données de mortalité routière et de collision avec la grande faune sont principalement recueillies par le MTMDET et sont accessibles sur demande. D'ailleurs une étudiante du CUFE, Kim Lemieux, a colligé, cartographié et analysé ces données pour la région des Laurentides dans son essai (Lemieux, 2018).

Le véritable défi consiste à identifier les endroits où les routes posent problème pour la faune et pour la conservation des écosystèmes. D'instinct, il peut être évident de les localiser en utilisant les données de collisions et de mortalité routière. Bien que très utiles, il s'avère pourtant que ces informations ne sont pas suffisantes pour véritablement cibler la problématique de conservation, et ce, pour diverses raisons qui sont détaillées sous la section 5.4 de ce même chapitre. Pour parvenir à cibler les zones problématiques pour la faune, il est plus avantageux de procéder à des analyses spatiales en utilisant des données empiriques sur le comportement et le déplacement animal. Il faut également repérer les habitats de qualité situés de part et d'autre de la route. Si les tracés de corridors naturels de déplacement sont déjà connus, additionnés des données de qualité de l'habitat, alors l'identification est plus simple. Il est également intéressant de joindre les données de mortalité routière à ces analyses, puisqu'elles demeurent un bon indicateur pour identifier les zones problématiques, bien qu'elles ne doivent pas être les seules informations à considérer (Garrah et al., 2015).

5.3. Choix des espèces cibles des passages fauniques

Lors de l'élaboration d'un projet de passage faunique, il faut réfléchir sur les espèces qui doivent être protégées en priorité du danger que représentent les routes. En effet, malgré la volonté de réduire la mortalité de toutes les espèces et d'améliorer la connectivité de façon globale, la réalité est qu'il faut donner la priorité à certaines d'entre elles davantage affectées par le réseau routier ou causant plus de dommages. Le fait est aussi que les passages fauniques sont spécifiques à des groupes d'espèces qui ont des comportements similaires. Il est alors nécessaire de cibler des espèces précises et de faire les aménagements appropriés qui rendent le passage efficace.

Il est d'abord nécessaire d'identifier les espèces qui sont négativement affectées par les routes (Rytwinski et Fahrig, 2012). En effet, contrairement à ce que l'on peut penser, toutes les espèces ne réagissent pas de la même façon devant les routes et toutes ne ressentent pas les effets négatifs qu'elles peuvent entraîner (Rytwinski et Fahrig, 2012). Plusieurs chercheurs ont étudié la question et les résultats font ressortir deux approches à considérer selon les espèces pour identifier lesquelles sont davantage affectées par les routes. Cette connaissance est primordiale pour savoir quelles espèces considérer en priorité lorsque les passages fauniques sont planifiés. La première approche se base sur les traits de vie des espèces, plus précisément sur le taux de reproduction, la mobilité et la densité. La seconde se base plutôt sur le comportement de l'animal face au trafic autoroutier.

La première approche consiste à identifier les espèces les plus susceptibles d'être atteintes négativement par les routes selon leurs traits de vie. La littérature en est venue à plusieurs observations. D'abord, les

espèces qui effectuent des déplacements terrestres sur de grandes distances ont plus de risques de croiser une route au cours de leur migration, ce qui augmente leur probabilité d'entrer en collision avec un véhicule. Dans le même ordre d'idée, les espèces qui ont de grands domaines vitaux sont davantage exposées au réseau routier, et donc aux collisions. Ensuite, la résilience des espèces confrontées à la mortalité routière est moins élevée lorsqu'elles ont des taux de reproduction faibles, de même qu'un temps de génération plus long. Ceci signifie qu'une espèce qui se reproduit tardivement ou peu fréquemment et qui produit peu de jeunes peinera à ramener la taille de sa population à des niveaux acceptables en cas de déclin causé par les routes. Face aux perturbations, ces espèces ont davantage de difficulté à se rétablir comparativement aux espèces qui se reproduisent rapidement et qui ont une progéniture plus importante. Enfin, les espèces dont les populations sont de densité faible subiront également les effets négatifs des routes. Il en résulte que les espèces qui ont ces traits de vie voient la taille de leur population réduire rapidement dans le cas où la mortalité routière est importante. (Rytwinski et Fahrig, 2011) Deux mécanismes résument cette approche. Le taux de reproduction des espèces influence leur résilience face aux perturbations des routes. La mobilité des espèces, pour sa part, influence le nombre d'interactions entre l'animal et la route, ce qui influe sur leur probabilité d'être victime de collision. En regard de ces résultats, il est possible d'en déduire qu'un réseau routier dense a des effets négatifs sur les espèces à faible taux de reproduction, à grande mobilité et de grande taille. En d'autres termes, les mammifères de grandes tailles sont plus sujets à la mortalité routière et aux effets négatifs des routes. En connaissance de cause, les efforts de mitigation et les passages fauniques devraient cibler ces espèces. (Fahrig et Rytwinski, 2009; Rytwinski et Fahrig, 2011)

De plus, ce constat permet de comprendre pourquoi le nombre de certains petits mammifères augmente dans les populations situées à proximité de réseaux routiers denses. Une réduction des grands mammifères, notamment les prédateurs, peut avoir un effet sur les petits mammifères lorsque ceux-ci sont moins prédatés. (Rytwinski et Fahrig, 2011) De surcroît, certains petits mammifères sont adaptés aux abords de routes et vivent avec les ressources disponibles à ces endroits. Ces derniers ne sont pas affectés par la circulation et ne subissent que très peu la mortalité routière (Eberhardt et al., 2013). Les petits mammifères, dont l'abondance n'est pas menacée, ne devraient pas être priorités lors de l'élaboration des passages fauniques. (Rytwinski et Fahrig, 2011)

La deuxième approche qui permet d'identifier les espèces plus à risque de subir les effets négatifs des routes est celle fondée sur le comportement de l'animal. L'équipe de Jaeger et al. (2005) a déterminé qu'il existait trois réactions chez les animaux lorsqu'ils sont confrontés à une route et au trafic. Il y a le comportement d'évitement de la surface de la route. Certaines espèces n'osent pas s'aventurer sur le substrat particulier des accotements et des chaussées. Dans ce cas, la route a un effet barrière en freinant le déplacement de l'animal. Un passage faunique adapté à ces espèces devrait alors être conçu de façon à ce que le sol soit naturalisé. Ensuite, certaines espèces évitent les perturbations associées aux routes, telles que le bruit, la lumière et les odeurs. En plus de causer un effet barrière, la route entraîne une perte

d'habitat plus ou moins grande selon le cas, puisque l'animal évite les secteurs près des routes. Cependant, ces espèces peuvent traverser les routes si la densité du trafic est faible. Dans ces conditions, la mortalité routière n'a que peu d'effet sur l'espèce (Eberhardt et al., 2013). Il n'est alors pas judicieux de prévoir un passage faunique pour ces espèces, du moins, pas sur une route achalandée où le trafic est élevé. Enfin, il y a les espèces qui ont la capacité de traverser les voies tout en évitant les voitures. Bien que ces espèces ne soient pas à l'abri de la mortalité routière, l'effet barrière et la perte d'habitat ont moins d'effet sur elles. Les animaux qui évitent les surfaces et les perturbations des routes ne sont pour leur part que peu concernés par la mortalité routière. Toutefois, ils sont sujets aux effets de l'isolement et de la fragmentation des populations. (Rytwinski et Fahrig, 2012)

Rytwinski et Fahrig (2012) ajoutent un quatrième comportement, celui de l'attraction aux routes. Effectivement, quelques espèces, telles que certains reptiles et ongulés, y trouvent leur compte notamment pour la ponte et la thermorégulation de même que pour l'apport de minéraux. La facilité de déplacement dans l'espace ouvert de la route peut aussi attirer certaines espèces. Les espèces qui sont attirées par les routes et qui n'ont pas le comportement d'éviter les véhicules sont à risque très élevé de devenir des victimes de collisions routières. (Rytwinski et Fahrig, 2012)

Il est possible de joindre ces deux approches et d'arriver à identifier des groupes d'espèces pour lesquels les mesures de mitigation et les passages fauniques devraient être destinés, puisqu'elles sont les plus affectées par les effets négatifs des routes. Il en résulte que les efforts devraient être portés sur les espèces qui ont des taux de reproduction faibles, qui ont une grande mobilité, qui sont attirés par les routes et qui n'évitent pas les véhicules. Tel que mentionné, les grands mammifères font partie de cette catégorie, même si la plupart peuvent éviter les voitures dans une certaine mesure. Il faut également intégrer les amphibiens et les reptiles, toutes espèces confondues, puisque ce sont ces groupes qui sont les plus affectés par les routes. En effet, de nombreuses études soulignent que ces espèces subissent de graves conséquences reliées à la mortalité routière (Bissonette et Adair, 2008; Eberhardt et al., 2013; Fahrig et Rytwinski, 2009; Garrah et al., 2015; Heigl, Horvath, Laaha et Zaller, 2017; Rytwinski et Fahrig, 2012; Trombulak et Frissell, 2000). Il faut considérer que puisque leur mortalité routière ne représente pas un enjeu de sécurité pour les usagers de la route, il était à l'époque plus difficile de justifier l'investissement dans les infrastructures favorisant leur passage sécuritaire. Diverses raisons expliquent leur sensibilité face au réseau routier. D'abord, plusieurs reptiles ont une longévité importante et une maturité sexuelle tardive. Leur taux de reproduction est plutôt faible, ce qui les rend moins résilients devant une perturbation. De plus, plusieurs espèces, amphibiens et reptiles confondus, effectuent d'importantes migrations sur le territoire, navettent régulièrement des milieux humides aux milieux terrestres (et vice-versa), que ce soit pour la recherche de partenaires, la reproduction, la ponte ou l'alimentation. Ensuite, la plupart de ces espèces se déplacent lentement et ne sont pas conscientes de la présence des voitures. Ces caractéristiques comportementales et ces traits de vie les rendent très vulnérables à la mortalité routière et celle-ci a des effets graves sur les populations. (Bouchard, Ford, Eigenbrod et Fahrig, 2009; Rytwinski et Fahrig, 2012; Woltz, Gibbs et Ducey,

2008) S'ajoutent aussi les effets indirects de la mortalité routière sur ces groupes, plus particulièrement chez les amphibiens, suite au retrait des adultes écrasés avant qu'ils aient pu se reproduire ou pondre. Leur retrait a pour cause de modifier la structure des populations : il y a davantage de jeunes que d'adultes. Pour les amphibiens, ceci signifie une diminution de la taille moyenne des individus et donc une réduction du taux de reproduction, ces deux facteurs étant liés (Hoskin et Goosem, 2010). Ainsi, en plus de causer la mort de nombreux individus, la mortalité routière affecte la reproduction du reste de la population, ce qui en accentue le déclin. (Rytwinski et Fahrig, 2012; Woltz et al., 2008)

Il faut également considérer la région biogéographique du site. Les espèces fauniques du sud du Québec n'ont pas les mêmes caractéristiques que celles du nord et la diversité y varie considérablement. Le choix des espèces à inclure dans les projets de passages fauniques doit prendre en compte la limite nordique de la faune de même que la distribution des espèces. L'enjeu des changements climatiques doit également être considéré. En effet, les espèces migrent vers le nord et continueront de le faire, ce qui modifie la composition des communautés fauniques. Les passages fauniques devront alors répondre aux besoins de nouvelles espèces. Cette réalité doit être évaluée par les planificateurs des projets de passages fauniques.

En prenant connaissance de ces informations, il devient évident que les mesures de mitigation et les passages fauniques doivent être conçus en priorité pour les amphibiens et les reptiles, de même que pour les mammifères à grande mobilité et à taux de reproduction faible ainsi que pour les espèces qui n'évitent pas les routes et qui sont perturbées par le trafic routier. (Rytwinski et Fahrig, 2012)

5.4. Choix de l'emplacement

De façon traditionnelle et instinctive, les passages fauniques sont installés dans les « *hotspots* » de mortalité, zone où la mortalité routière est particulièrement importante (Bissonette et Adair, 2008; Eberhardt et al., 2013). Au MTMDET, la méthode utilisée consiste à réaliser une analyse de risque de collision. Celle-ci permet d'étudier les secteurs où il y a de nombreuses collisions avec la grande faune, puis d'analyser les caractéristiques du territoire, telles que la présence de corridors, la présence d'habitats particuliers et la présence de saline. En regard de ces données, les mesures de mitigation appropriées sont sélectionnées, de même que les endroits où agir (Peltier, 2012). Le MTMDET intervient lorsqu'il y a un risque élevé de collision ou bien lorsque les accidents sont nombreux (Peltier, 2012).

5.4.1. Le cas de la mortalité routière

L'utilisation exclusive de la mortalité routière, ou des *hotspots*, en tant qu'indicateur de l'endroit où installer un passage faunique est à éviter. En effet, plusieurs raisons font en sorte que cette donnée, bien que très parlante et qui relève une vraie problématique, ne permet pas d'identifier l'endroit le plus efficace pour favoriser le passage sécuritaire de la faune. La littérature à ce sujet est sans équivoque (Eberhardt et al., 2013; Garrah et al., 2015; Gunson et Teixeira, 2015; Teixeira et al., 2017).

D'abord, les données de mortalité routière incluent presque exclusivement la mortalité de la grande faune (Gunson et Teixeira, 2015), soit les cerfs de Virginie, les orignaux, les caribous et les ours noirs (Lemieux, 2018; Peltier, 2012). En contrepartie, il n'existe que très peu de données pour la petite et la moyenne faune et les données disponibles sont souvent incomplètes ou sont prises pour des tronçons précis de route. Ce manque de données vient principalement du fait qu'elles sont difficiles à compiler vu la grandeur du réseau routier et la taille de la faune (ex. un cerf de Virginie versus une grenouille verte). Pour obtenir de telles informations, il est nécessaire de procéder à des études poussées et qui s'étendent sur plusieurs années (Jaeger et al., 2017).

Ensuite, il faut considérer que l'absence de mortalité routière n'est pas synonyme d'absence de problème. En effet, des études récentes démontrent que la connaissance de l'historique des populations de certaines espèces est primordiale pour identifier des secteurs problématiques (Eberhardt et al., 2013; Garrah et al., 2015; Teixeira et al., 2017). Des populations, autrefois abondantes, ont pu être affectées significativement par les routes dans le passé, à un point tel où la population est aujourd'hui réduite. Dans ce cas, la mortalité routière actuelle ne reflète pas le problème, puisque le nombre d'individus est inférieur à ce qu'il était auparavant. Ce phénomène se nomme l'effet de dépression : ce qui est observé actuellement n'est qu'un reflet de la réalité d'avant, c'est-à-dire que la taille de la population actuelle est une infime portion de ce que la taille de population a déjà été. Ainsi, la mortalité routière du passé a causé une dépression des populations, ce qui fait en sorte qu'il n'y a pas beaucoup de données de mortalité routière à cet endroit par rapport à d'autres routes, par exemple où le trafic est moins important, puisque les populations ont été trop affectées (Teixeira et al., 2017). Il est ardu de localiser ces endroits, puisque peu de données existent pour analyser l'évolution des populations.

En d'autres mots, une mortalité routière faible peut être due à la dépression historique des populations animales, elle-même causée par une mortalité routière élevée (Eberhardt et al., 2013; Garrah et al., 2015). Afin de pallier ce défi, il peut être intéressant d'utiliser le taux de mortalité per capita, qui représente la probabilité d'un individu de mourir à cause du trafic routier plutôt que le nombre d'individu retrouvé mort (Teixeira et al., 2017). Pour cette raison, les efforts de mitigation devraient être portés là où l'habitat est de meilleure qualité et où le trafic est le plus élevé, peu importe l'intensité de la mortalité routière (Eberhardt et al., 2013; Garrah et al., 2015). Toutefois, à défaut d'avoir toutes les données pertinentes, les données de mortalité routière restent un bon outil de base pour identifier les secteurs problématiques (Garrah et al., 2015).

Les données de mortalité routière peuvent aussi indiquer des défauts de la route, tels qu'une visibilité moins bonne ou une courbe dangereuse. Il faut également considérer que les endroits où la faune traverse les routes avec succès ne sont pas situés dans les mêmes zones où la mortalité routière est élevée, ce qui rajoute un défi supplémentaire. En effet, les données sur les collisions n'indiquent pas l'endroit précis où la faune traverse véritablement. (Clevenger, 2012)

De plus, la localisation des *hotspots* de mortalité varie selon les espèces et selon la date. Dans les faits, ils varient selon la géographie et la période de l'année, et ce, pour chaque espèce. Il n'est donc pas possible de généraliser les données pour un groupe hétérogène d'espèces. De surcroît, pour une espèce, les *hotspots* de mortalité ne sont pas situés aux mêmes endroits d'une année à l'autre. Il devient alors très complexe de prévoir une infrastructure permanente et fixe dans ces conditions. Pour utiliser les *hotspots* de mortalité, il faudrait réaliser des études à long terme afin d'augmenter la précision des données, ce qui n'est souvent pas réaliste. (Garrah et al., 2015)

Les données de mortalité routière peuvent être utilisées afin de localiser l'emplacement d'un passage faunique dans le cas où la grande faune pose un problème de sécurité. Les passages fauniques peuvent être installés là où la mortalité est élevée. Même si ces endroits ne sont pas localisés idéalement selon les patrons de déplacement et la présence d'habitats, la grande faune a la capacité de se déplacer et de trouver le passage. En effet, un orignal qui tente de traverser une route et qui se heurte à une clôture d'exclusion aura le réflexe de longer l'infrastructure, et ce, sur plusieurs kilomètres s'il le faut jusqu'à trouver un endroit où traverser. Cependant, les espèces à mobilité réduite ne peuvent se permettre de marcher sur de longues distances. Il ne faut pas oublier que les données de collisions de la grande faune sont souvent imprécises. Les données permettent alors d'identifier les secteurs problématiques et d'agir sur de grandes distances (Eberhardt et al., 2013). Dans ce cas, la précision n'est pas nécessaire, contrairement aux cas des autres espèces pour lesquelles des passages doivent être conçus (Eberhardt et al., 2013).

Dans le cas des amphibiens et des reptiles, l'utilisation des données de mortalité routière n'est pas efficace pour localiser l'emplacement des passages fauniques (Eberhardt et al., 2013). L'effet de dépression est très significatif pour ces groupes d'espèces et les *hotspots* varient grandement d'une année à l'autre. L'idéal est plutôt d'installer des mesures de mitigation et des passages là où il y a des habitats de qualité et où le trafic est élevé (Eberhardt et al., 2013). En effet, la densité du trafic influence la probabilité de l'animal de se faire écraser. Pour ces espèces, c'est cet enjeu qui est prioritaire soit réduire la mortalité avant de leur faciliter l'accès aux habitats.

Ainsi, les données de mortalité routière sont très importantes, malgré leurs limites. Elles permettent de connaître les secteurs problématiques et de cibler des mesures de mitigation appropriées. La mise en garde consiste seulement à évaluer d'autres informations afin de compléter l'analyse et d'inclure l'ensemble des facteurs qui déterminent l'efficacité d'un passage faunique. (Gunson et Teixeira, 2015)

5.4.2. Considération budgétaire

Dans une optique de gestion du territoire à l'échelle du paysage, il est optimal de prévoir des passages fauniques qui s'insèrent dans la lignée de corridors naturels de déplacement de la faune. C'est d'ailleurs cette pratique qui est encouragée par les organismes de conservation du Québec (Gratton, 2014). Or, quelques difficultés peuvent se présenter lors de l'identification de ces sites. Notamment, plusieurs données empiriques sont nécessaires afin de bien identifier les corridors et d'obtenir une connaissance suffisante

des caractéristiques du territoire incluant les espèces fauniques. Entre autres, des données d'inventaires fauniques, de validation des habitats de même que des données sur le comportement animal sont nécessaires. Ces informations sont parfois difficiles à obtenir, puisque d'importants investissements doivent être effectués en temps et en fonds monétaires, ce qui peut constituer une limite majeure. Il est toutefois possible de pallier les données manquantes en utilisant des méthodes de modélisation d'habitats et en ayant recours aux systèmes d'information géographiques (SIG), qui sont de plus en plus accessibles. Bien que moins précises, les informations obtenues par ces moyens permettent d'obtenir une vision générale de la situation et d'identifier des sites potentiels sur l'ensemble du territoire.

Cependant, la réalité des organismes qui travaillent à la connectivité du territoire et en écologie routière est que les budgets ne suivent souvent pas l'ampleur des besoins sur le terrain. Ainsi, comment faire pour prioriser les sites où doivent être installés des passages fauniques une fois que les corridors de déplacement et de connectivité sont identifiés, tout en respectant les moyens disponibles? Quelques pistes sont recensées dans la littérature.

Dans un premier temps, les enjeux de conservation sont plus élevés sur les routes achalandées où le trafic routier est dense. Les risques de collisions y sont plus élevés et plusieurs espèces n'osent pas s'y aventurer. Dans ce cas, un passage faunique est une priorité. Il faut aussi faire ressortir que les avantages économiques sont très importants si le nombre de collisions est réduit, ce qui peut aider à justifier l'investissement.

Dans un deuxième temps, il faut localiser les habitats fauniques potentiels ou connus qui s'insèrent dans les corridors fauniques et qui sont situés en bordure de route. Le passage faunique devra ainsi être installé sur une route achalandée, à proximité d'habitats de qualité pour la faune.

Il peut cependant être nécessaire d'installer des passages sur des routes un peu moins achalandées, mais dont l'habitat sur le pourtour est de qualité supérieure. Les amphibiens et les reptiles profiteront particulièrement des structures installées à ces endroits, surtout si des milieux humides sont présents.

Dans un troisième temps, il est pertinent d'identifier les ponceaux et les ponts qui traversent les routes sélectionnées. Cet effort permettra d'adapter les infrastructures existantes aux passages de la faune à moindre coût. Bien que cette mesure demande moins d'investissements, elle ne permet pas toujours de cibler une espèce en particulier et ne garantit pas la présence d'habitats de qualité à proximité.

5.4.3. Tenure privée du territoire

Lors de la sélection de l'emplacement, il est nécessaire de valider à qui appartiennent les terres adjacentes au projet. Bien que ce point puisse sembler évident, il est impératif de prévoir à long terme la gestion du territoire autour des passages fauniques afin de garantir leur qualité et leur conservation à long terme afin d'assurer leur efficacité. Les gestionnaires des projets doivent s'asseoir avec les propriétaires privés et prendre connaissance de leurs intentions vis-à-vis la gestion de leurs terres.

Dans le sud du Québec, les terres privées sont nombreuses, ce qui pose un défi supplémentaire dans la planification des projets de passages fauniques. Afin de s'assurer que les infrastructures soient fonctionnelles, l'environnement à proximité des passages fauniques doit être favorable à la faune afin de les inciter à fréquenter les lieux et d'intégrer les infrastructures dans leurs habitudes de déplacement. De plus, en regard de l'investissement que représente un passage faunique et les mesures de mitigation qui les accompagnent (clôtures, signalisation, etc.), il n'est pas souhaitable que la nature des terrains adjacents soit modifiée en défaveur de la faune.

Plusieurs organismes de conservation travaillent d'ailleurs à la préservation des noyaux naturels en collaboration avec les propriétaires de terres et de boisés (Nature-Action Québec, Corridor Appalachien, Éco-corridor laurentien pour n'en nommer que quelques-uns) et ce, de plus en plus à proximité de projets de passages fauniques.

En plus de garantir le maintien de milieux naturels de qualité, d'habitats et de ressources pour la faune et de participer à la connectivité du territoire, cette collaboration entre les gestionnaires du territoire, les propriétaires privés et les organismes de conservation permet de justifier le projet et l'emplacement des passages fauniques.

5.4.4. Distance entre les aménagements

Un autre enjeu important consiste à déterminer la distance nécessaire entre les passages fauniques. Le défi est de respecter le budget tout en mettant sur pied des aménagements efficaces et fréquentés par la faune cible. Historiquement, la distance était établie selon des perceptions anthropiques et des essais-erreurs, sans analyser les données scientifiques qui pourraient rendre les installations efficaces.

La distance entre les passages dépend d'abord de la fragmentation du paysage. En effet, s'il n'y a qu'un endroit où la faune peut encore se déplacer de part et d'autre d'une route, la question ne se pose pas. Il n'y aura qu'un seul passage. Dans le cas où les passages fauniques sont installés dans un vaste espace naturel, alors il faut plutôt considérer la capacité de déplacement des espèces visées par les aménagements. En France, les spécialistes recommandent un passage à tous les 400 mètres (Bédard et al., 2012). Au Québec, les passages pour la grande faune sont espacés principalement selon la nature du terrain et les passages pour la petite et moyenne faune sont installés à côté des passages à grande faune (Jaeger et al., 2017).

Deux chercheurs se sont penchés sur la question et ont déterminé que le domaine vital des espèces les plus sujettes à la mortalité routière dans la catégorie de la grande faune permettait d'analyser la distance idéale entre les passages pour le plus grand nombre d'espèces (Bissonette et Adair, 2008). Leurs résultats soutiennent que des passages destinés aux cerfs de Virginie espacés de 1,6 km permettait à 71 % des espèces présentes dans le territoire de leur domaine vital d'utiliser les installations. Cette information est intéressante, puisqu'elle permet de répondre à un besoin de sécurité routière en réduisant les collisions

avec la grande faune tout en offrant la possibilité à un grand nombre d'espèces de traverser les routes de façon sécuritaire. Même si la distance ne permet pas à toutes les espèces de traverser, la majorité des espèces peuvent en profiter et les coûts engendrés par les nouvelles installations sont moins importants. Cette avenue peut être intéressante dans un contexte budgétaire restreint et dans le cas où de grandes distances de routes sont à couvrir par les aménagements. (Bissonette et Adair, 2008)

La diversité des milieux naturels peut également être un indicateur des distances à respecter entre deux passages. Effectivement, dans le cas où une grande diversité de milieux naturels est présente, la diversité des espèces le sera également. Les enjeux de connectivité sont alors plus importants et davantage de passages fauniques pourraient être requis, et ce, à des distances adaptées à la capacité de déplacement des espèces cibles. Au contraire, lorsque les milieux naturels sont relativement uniformes, les distances entre les passages peuvent être constantes et plus grandes.

Il est nécessaire de connaître le comportement de la faune ciblée par les aménagements ainsi que le territoire où ils sont prévus afin de déterminer avec assurance la distance requise pour qu'ils répondent à leurs objectifs. Des modèles de déplacement et de mouvement des espèces peuvent être réalisés et faciliter l'identification des endroits les plus susceptibles de correspondre à des corridors. L'idéal reste toutefois d'obtenir des données empiriques, de connaître l'habitat et de consulter des spécialistes du comportement animal. (Clevenger, 2012)

5.5. Choix des aménagements

Une fois que les espèces cibles ont été sélectionnées et que les endroits problématiques ont été identifiés, le prochain défi consiste à choisir le type d'infrastructures qui devra être mis en place. Chaque espèce ou groupe d'espèces a ses préférences. Il est nécessaire de les considérer et de connaître le comportement animal afin de prendre une décision éclairée. De plus, il faut savoir conjuguer le besoin qui justifie l'intervention et le budget. Ces deux éléments ne sont pas toujours faciles à allier, il faut donc être capable de prioriser les actions et s'assurer que les espèces ayant les plus grands besoins soient incluses. Cette sous-section expose les méthodes les plus efficaces selon la littérature afin de favoriser les espèces les plus affectées par les effets des routes.

Il est d'abord nécessaire de restreindre l'accès aux routes aux grands mammifères et aux espèces qui ont des domaines vitaux étendus et des taux de reproduction faibles (Rytwinski et Fahrig, 2012). Les clôtures d'exclusion sont alors utiles, accompagnées de passages. Les passages inférieurs destinés aux grands mammifères doivent respecter certains critères afin d'encourager leur utilisation par la faune cible. En effet, l'ouverture du passage doit être suffisamment large et haute afin de réduire l'effet de tunnel sombre. Au Québec, des ouvertures de 2 m par 6 m sont suffisantes pour permettre le passage de l'orignal dépendant de la longueur à franchir. Les canidés, les félins, les ours et les autres cervidés peuvent alors aisément les emprunter. Les pentes ne doivent pas être trop abruptes et les animaux ne doivent pas avoir une vue trop évidente de la route. Le passage doit s'intégrer dans le paysage.

Les ponceaux ont une conception moins complexe. En effet, la petite et moyenne faune qui emprunte ces structures a l'habitude de fréquenter des endroits étroits et obscurs, tels que des tanières, des abris ou des tunnels. Par contre, il faut penser que les animaux qui ont ces habitudes de vie sont souvent prédatés. Ainsi, une ouverture en plein milieu du passage peut freiner son utilisation par la faune, puisque celle-ci ne s'aventure normalement pas dans les espaces ouverts, de peur d'être prédaté par la voie des airs. Les passages en ponceaux devraient alors être fermés sur toute leur longueur et aménagés aux extrémités pour faciliter et sécuriser le déplacement.

En ce qui concerne les amphibiens et les reptiles, il est prouvé que les mesures de mitigation peuvent réduire les effets des routes sur ces populations. Plusieurs mesures existent et il a été convenu que la plus efficace est celle qui mixte les clôtures et les tunnels (Rytwinski et Fahrig, 2012; Woltz et al., 2008). Une étude complète a été réalisée avec l'objectif de tester l'efficacité de ces tunnels conçus spécifiquement pour les amphibiens et les reptiles de l'Amérique du Nord (Woltz et al., 2008). Pour ce faire, les chercheurs ont évalué l'attrait des animaux pour différents types de tunnel, dont le diamètre de l'ouverture, le type de substrat, la longueur du tunnel, la perméabilité à la lumière et la hauteur des clôtures variaient. Les résultats obtenus soutiennent que l'ouverture du tunnel est un facteur déterminant pour plusieurs espèces. Un diamètre situé entre 0,5 et 0,9 m permet à la grande majorité des espèces de se déplacer, même par saut. Peu d'animaux s'aventuraient dans des tunnels de 0,3 m de diamètre. Ensuite, le type de substrat ne semblait pas influencer le choix des animaux, exception faite pour la grenouille verte qui préférait un substrat de terre à un sol de PVC. Il est malgré cela recommandé d'ajouter de la petite pierre afin de maintenir un minimum d'humidité dans la structure. Cette observation est intéressante pour les concepteurs, qui peuvent alors simplement prévoir des ajustements dans des structures existantes, telles que des ponceaux, sans ajouter une couche de substrat naturel qui peut être difficile à conserver lors de l'entretien des structures. Par la suite, il ne s'est observé aucune préférence marquée pour une longueur particulière de tunnels. Toutes les espèces ont emprunté le tunnel le plus long, ce qui est encourageant considérant que les passages doivent souvent traverser des routes relativement larges. La longueur du tunnel ne semble donc pas constituer une limite majeure. Pour ce qui est de la perméabilité de la lumière, les résultats ne sont pas concluants. L'auteur suggère malgré tout d'installer des ampoules à énergie solaire à l'intérieur, tout en recommandant de poursuivre les recherches à ce sujet. Enfin, il s'est avéré que des clôtures hautes de 0,6 m à 0,9 m étaient suffisantes pour éviter que la majorité des espèces traversent sur les routes et qu'elles les dirigent plutôt vers les tunnels. (Woltz et al., 2008) Les mailles des clôtures doivent être petites afin d'être efficace. Outre l'installation de passages fauniques, il est également possible d'élever les bordures des routes afin d'éviter que les amphibiens et reptiles n'atteignent les routes (Rytwinski et Fahrig, 2012).

Enfin, il faut réfléchir aux moyens disponibles qui permettent de réduire les effets négatifs des routes sur la faune affectée par les bruits et les odeurs qui s'en dégagent. Des recherches devraient être portées sur les méthodes de réduction du bruit causé par les véhicules circulant sur les routes. Par exemple, il serait possible de changer le type de pavé ou encore d'installer des structures antibruit dans les zones

stratégiques, telles qu'à proximité d'habitats de qualité, de sites de reproduction ou de mise bas. (Rytwinski et Fahrig, 2012)

5.6. Défis techniques des aménagements

L'installation de passages fauniques requiert des efforts de maintien et d'entretien importants, et ce, à des niveaux différenciés dépendamment du type de structures installées. Il faut également considérer que les conditions météorologiques particulièrement rigoureuses du Québec posent plusieurs défis aux concepteurs des installations. En effet, les périodes de gel et de dégel sont contraignantes pour les matériaux.

L'installation de clôtures d'exclusion de la faune est obligatoire dans le cas de nombreux passages, surtout pour ceux destinés à la grande et moyenne faune. Ces installations guident les animaux vers les entrées des passages, ce qui augmente la fréquentation par la faune. À ce titre, elles sont déployées sur des kilomètres de route, à des endroits parfois difficiles d'accès et elles se doivent d'être en bon état en tout temps pour guider les animaux vers les passages et contribuer à leur sécurité. Par exemple, des arbres peuvent tomber sur les clôtures et les endommager considérablement. Pour les protéger, un fil métallique peut être installé sur le dessus de la clôture afin d'amortir les chocs. De plus, il est pertinent de prévoir un entretien de la végétation autour des clôtures. En effet, les inspections et les réparations seront plus simples et le fauchage permettra de réduire les risques que des arbres ou des arbustes poussent au travers. Cet entretien demande cependant du temps et un important budget mais pas nécessairement significativement supérieur aux entretiens existants selon les cas.

Dans un autre ordre d'idées, il faut être ingénieux et créatif lorsque vient le temps de penser aux types de passages fauniques qui devront être installés. Les structures doivent être adaptées au terrain et pour cela, il faut faire preuve d'innovation, puisqu'il n'existe pas encore de devis normés ou de guides de fabrication de passages fauniques au Québec. Il faut plutôt collaborer avec des ingénieurs et développer des structures efficaces et sur mesure. Bien entendu, il y a des méthodes assez simples et déjà bien développées, telles que l'adaptation des ponceaux et des ponts (porte-à-faux, pied sec, etc.). Or, des situations et des contextes particuliers peuvent demander des solutions originales et adaptées lors de la conception des infrastructures.

Enfin, les passages fauniques demandent souvent des investissements importants, que ce soit pour la structure en tant que telle ou pour l'entretien. Il peut s'agir d'une limite importante, mais il est possible de favoriser des méthodes moins coûteuses, comme l'adaptation des structures existantes.

5.7. Suivi et évaluation de l'efficacité des passages fauniques

La dernière étape d'un projet de passage faunique est d'effectuer le suivi et l'évaluation de l'efficacité des structures installées. Pour ce faire, la méthode la plus utilisée consiste à installer des caméras à déclenchement automatique (détection de mouvements ou détection des variations de température) et de dénombrer les animaux qui fréquentent le passage. Les données de collisions routières collectées avant et

après l'inauguration du projet peuvent aussi être comparées et analysées afin d'obtenir un portrait des changements à la sécurité. L'évaluation de l'efficacité ne doit pas être négligée, puisqu'elle permet d'identifier les réussites et les lacunes des projets, et donc de réajuster le nécessaire en cas de problème. Quelques défis se rattachent à cette étape primordiale.

D'abord, pour être en mesure d'évaluer l'efficacité des passages fauniques, des données doivent avoir été colligées avant l'implantation du projet, ce qui peut représenter une limite importante. En effet, la collecte de données s'avère souvent dispendieuse et fastidieuse. Si l'on prend pour exemple la mortalité routière pour des espèces de petits gabarits, d'importants investissements en temps et en ressources humaines sont nécessaires. Une solution alternative émergente et de plus en plus recommandée par les scientifiques et les acteurs en conservation consiste à mettre sur pied des programmes de science citoyenne. Cette idée implique que les citoyens rapportent leurs observations de carcasses animales dans une banque de données partagées (Heigl et al., 2017). En plus de conscientiser les résidents, cette méthode permet d'alimenter une banque de données qui peut par la suite servir de base de référence. Il faut toutefois s'assurer d'encadrer la démarche et aussi avoir suffisamment de participants pour avoir un minimum de données.

Ensuite, l'efficacité des passages fauniques est principalement évaluée en fonction du nombre d'animaux qui les fréquentent avec succès. Or, ces informations, bien que très utiles, ne confirment pas si l'effet barrière est véritablement réduit chez les espèces qui en souffrent et si le flux des gènes est favorisé. (van der Grift et al., 2013) Le fait est que la méthode de saisie de données (utilisation de caméras) ne permet pas de connaître le nombre d'individus différents qui les fréquentent ni d'obtenir des informations complètes sur les individus (âge, sexe, etc.) (Bédard et al., 2012). Comme le spécifie Clevenger (2012), « L'utilisation des passages fauniques ne garantit pas une connectivité génétique ». Pour véritablement évaluer la réussite des passages fauniques d'un point de vue écologique, il faut plutôt effectuer un suivi par télémétrie et procéder à des analyses génétiques complètes, ce qui est plus complexe comparativement aux caméras.

Malgré tout, le suivi des passages fauniques à l'aide de caméras à détection de chaleur demeure la méthode la plus efficace pour détecter la faune à moindre coût. Cette technique demande tout de même du temps, notamment pour aller chercher les cartes-mémoire, puis extraire, classer et analyser les photos de façon à valider l'espèce et si l'animal a bel et bien traversé la route via le passage (Bédard et al., 2012).

De plus, l'expérience du Parc national de Banff (Clevenger, 2012) révèle que la faune a besoin de temps pour s'adapter aux nouvelles structures, période qui peut s'étirer de 3 à 9 ans selon les espèces. Ce fait doit être considéré lors de l'évaluation de l'efficacité, qui doit alors être réalisée sur plusieurs années afin d'observer une tendance (Bédard et al., 2012; Clevenger, 2012)

6. FACTEURS DE RÉUSSITE

L'identification et la compréhension des enjeux des projets de passages fauniques permettent d'éviter de faire des erreurs tout en optimisant les infrastructures. L'étude des enjeux permet également de relever des facteurs de réussite, du début à la fin des projets, ce qui contribue à l'efficacité des passages fauniques inaugurés. Ce chapitre expose ces facteurs de réussite, présentés en ordre de réalisation de projets.

6.1. Début de projet

Le lancement du projet est primordial à la réussite et à l'efficacité du passage faunique. Chaque étape doit être réfléchie et les décisions doivent être prises en considérant les espèces cibles, le budget disponible et les objectifs de départ (sécurité routière et/ou connectivité du territoire).

6.1.1. Mobilisation des intervenants clés

Dès le départ, il est optimal de joindre ses forces et de travailler en étroite collaboration avec les parties prenantes clés. Peu importe l'initiateur du projet, il est nécessaire de consulter la communauté impliquée, notamment les organismes de conservation, les scientifiques, les industries forestières, les municipalités concernées, les propriétaires et les ministères. Un défi majeur relève souvent de la disponibilité des données et des informations scientifiques. Le partage des connaissances apparaît alors plus simple lorsque les acteurs sont liés et qu'ils échangent vers l'atteinte d'objectifs communs. De nombreux auteurs soulignent d'ailleurs à quel point cette étape est importante et garante de succès (Bédard et al., 2012; Clevenger, 2012; Gratton, 2014; Peltier, 2012).

6.1.2. Conception des passages fauniques

La conception des passages fauniques doit être réalisée au meilleur des connaissances disponibles. Cette étape est importante et ne doit pas être négligée. Effectivement, plusieurs détails doivent être réfléchis et détermineront le succès des installations planifiées. À ce stade, il peut être pertinent de consulter des chercheurs spécialistes de l'aménagement du territoire et du comportement animal afin de valider les plans, les mesures de mitigation compagnes, les aménagements et leurs lieux d'implantation. De plus, les planificateurs devraient considérer les données récoltées avant le début du projet par les établissements scolaires et les citoyens. De plus en plus de projets de science citoyenne voient le jour et ces informations devraient être intégrées dans la conception des passages fauniques (Gunson et Teixeira, 2015 ; Heigl et al., 2017).

Voici les principaux points à considérer lors de la conception des passages fauniques.

D'abord, ils doivent être prévus exclusivement pour la faune et non partagés avec les humains. En effet, la présence humaine éloigne certaines espèces et les dissuade d'utiliser les passages (Clevenger, 2012). Des aménagements peuvent être installés de façon à dissuader les usagers d'emprunter les passages fauniques. À titre d'exemple, des panneaux d'informations et des affiches peuvent être installés à proximité

du passage afin d'informer les citoyens. Dans le cas où le site pourrait potentiellement être exploité par des véhicules tout terrain, des blocs de béton ou des poteaux peuvent être fixés de façon à restreindre la circulation. Ces structures restreignantes doivent cependant être fixées solidement afin qu'elles ne puissent être déplacées ou encore volées.

Ensuite, certaines espèces, principalement celles qui sont prédatées, ont besoin d'une couverture naturelle pour franchir le passage et les espaces aménagés à leurs extrémités. L'installation de débris végétaux et la plantation d'arbustes et d'arbres peuvent être des mesures suffisantes. Cette attention favorise le déplacement de la faune et leur sentiment de sécurité. (Bédard et al., 2012)

Les passages fauniques doivent aussi être adaptés au comportement de la faune cible. Par exemple, l'ouverture des passages doit être adéquate, que ce soit pour favoriser le déplacement par le saut ou pour réduire la crainte de l'animal vis-à-vis la structure. La nature du parterre doit aussi être réfléchi, de même que la présence ou non d'eau dans le passage. En effet, certaines espèces semi-aquatiques préféreront les ponceaux modifiés où l'eau circule ou encore la présence d'un cours d'eau dans le passage, alors que d'autres refuseront de se mouiller les pattes. (Woltz et al., 2008; discussion personnelle, MTMDET, 2017)

Les patrons de déplacement de la faune doivent également être étudiés et intégrés dans la conception des passages. Les variations journalières et saisonnières des activités fauniques peuvent influencer les préférences de la faune pour certains types de passages faunique. L'entretien de l'infrastructure doit aussi être réfléchi selon ces patrons. (Bellefeuille et Poulin, 2004)

De plus, la conception technique des passages fauniques doit être adaptée aux réalités climatiques du Québec. Pour ce faire, les concepteurs doivent innover, choisir des matériaux durables, qui résistent aux hivers rigoureux et aux aléas du climat. Ils doivent également prévoir des mesures de mitigation adaptées au terrain et efficaces. L'entretien des infrastructures, qui représente une part importante du budget post-construction, doit être simple et adapté. Il n'existe toujours pas de modèles préfabriqués pour tous les types de terrains et pour tous les types d'aménagement désirés. L'innovation est alors un atout essentiel des concepteurs.

Enfin, l'emplacement des passages fauniques est essentiel à la réussite du projet et détermine l'efficacité de l'infrastructure. Les critères suivants devraient être considérés en ordre de priorité lors de la sélection du site.

- a. Présence de corridors de déplacement connus et utilisés par la faune
- b. Présence d'un corridor faunique existant ou planifié
- c. Présence d'habitats de part et d'autre de la route
- d. Pérennité des habitats présents de part et d'autre du passage (tenure, zonage et type de propriétaire)

- e. Présence d'infrastructures existantes qui peuvent être adaptées afin de permettre le passage de la faune
- f. Taux élevé de collisions entre les véhicules et la faune
- g. Taux élevé de mortalité routière chez la faune

6.1.3. Adapter les passages fauniques aux infrastructures existantes

Dans un objectif d'efficacité budgétaire, il est recommandé d'adapter les infrastructures existantes afin de permettre le passage de la faune. Les ponceaux peuvent facilement et à moindre coût être adaptés en ajoutant une passerelle, un porte-à-faux ou un pied sec. Les dessous de ponts peuvent également être aménagés de façon à favoriser le passage de la faune en ajoutant de la végétation, en installant un corridor de déplacement, tels qu'un enrochement. Le réseau hydrographique qui croise des routes est aussi un indicateur pour identifier les emplacements de passages fauniques potentiels. (Bédard et al., 2012)

Ces adaptations fonctionnent bien pour les petits et les moyens mammifères, de même que pour les amphibiens et les reptiles (Bouchard et al., 2009). En plus de ces adaptations, il faut installer des clôtures adéquates afin de guider la faune vers les passages. Des clôtures de 100 mètres de longueur de chaque côté du passage sont habituellement suffisantes (Bédard et al., 2012). Pour les amphibiens et les reptiles, il faut sélectionner des ponceaux ou des ponts situés à proximité d'habitats de qualité pour ces espèces (Bouchard et al., 2009).

Dans la situation où les ressources ne permettent pas d'installer un passage pour la faune, il est possible d'opter pour des mesures de mitigation temporaire installées à des moments stratégiques. Par exemple, des panneaux de signalisation particuliers peuvent être installés seulement durant les pics de collisions avec la faune. Ces moments peuvent concorder avec des activités de migration, de reproduction et de dispersion des jeunes. Ces panneaux (avertissement de présence accrue de la faune, réduction de vitesse, panneaux lumineux, etc.) sont plus efficaces lorsqu'ils sont installés temporairement, puisque les citoyens n'ont pas l'habitude de les voir. Dans ce cas, les usagers de la route portent une meilleure attention à la route et adaptent, en général, leur conduite (Gunson et Teixeira, 2015).

6.2. Construction du passage faunique

Si la conception des passages fauniques a été réalisée selon les règles de l'art, l'étape de la construction devrait bien se dérouler. L'important, c'est de s'adapter aux conditions du terrain et d'être méthodique.

Il ne sert à rien d'installer des clôtures d'exclusion de la grande faune dans des endroits inaccessibles, tels que sur le dessus d'une pente escarpée. De plus, l'accès par les voitures aux routes qui sont perpendiculaires aux clôtures doit être adapté. Des barrières peuvent être installées dans le cas où la circulation est peu fréquente et des passages anti-cervidés (passerelle de barres métalliques en guise de tablier) lorsque l'activité autoroutière est plus intense.

Durant la réalisation des travaux, une attention particulière doit être accordée à la préservation de la flore naturelle. Des débris végétaux, tels que des bûches, des souches, des roches, peuvent être mis de côté et réutilisés lors du réaménagement du site. Cette méthode peu coûteuse offre des abris à la petite faune tout en donnant un aspect naturel au site.

6.3. Suivi du passage faunique

Dans un premier temps, l'évaluation de l'efficacité des passages fauniques est déterminante lorsque des données sur les déplacements de la faune et sur la mortalité routière ont été prises avant l'installation des infrastructures. La comparaison entre l'avant et l'après projet permet de justifier de nouveaux projets et de formuler des recommandations afin d'améliorer les pratiques.

Ensuite, pour effectuer le suivi des traversées dans les passages fauniques, l'idéal consiste à installer des caméras qui s'activent suite à la détection d'un différentiel de température, alimentées de batteries au lithium. Ces dernières ont une durée de vie augmentée et résistent mieux aux variations de la température extérieure. Les caméras doivent être installées de façon à couvrir l'ensemble de l'ouverture du passage et permettre de déterminer si l'animal traverse avec succès la structure. Elles doivent être accessibles pour faciliter la récolte des cartes mémoires et protégées des vols. Des boîtiers métalliques fermés par un cadenas peuvent être aménagés spécialement à cette fin.

Si le budget le permet, il est pertinent de réaliser un suivi télémétrique de la faune cible afin de cerner leur déplacement, d'abord, puis d'évaluer leur utilisation des nouveaux passages fauniques ensuite. Ces informations offrent un portrait de la fréquentation des passages, à savoir, l'heure de fréquentation, le nombre de traversées, les variations saisonnières, les préférences des individus suivis pour différents types de passages, etc. Une analyse génétique des poils retrouvés dans les passages fauniques permettrait aussi de déterminer le nombre d'individus qui utilisent les passages fauniques, ce qui est primordial pour évaluer l'efficacité du passage. En effet, cette analyse détermine le nombre d'individus qui ont fréquenté l'installation, et non seulement le nombre total d'individus tel que l'indiquent les caméras.

Il est également important de laisser un temps d'adaptation à la faune lors du suivi de l'efficacité des passages fauniques. Les animaux doivent prendre connaissance de l'existence des infrastructures, les apprivoiser, les intégrer dans leur schéma de déplacement et éventuellement transmettre leur connaissance à leur progéniture. Il s'agit d'un processus qui s'étire à long terme, souvent sur plusieurs années. Certes, des résultats seront observés dès l'inauguration du passage, mais ne permettront pas d'étudier les préférences des espèces et l'efficacité dans le temps des installations. À titre d'exemple, le suivi pourrait s'étirer sur plus de 10 ans, question d'analyser le comportement de la faune et d'identifier les points à améliorer pour les différentes espèces.

L'évaluation de l'efficacité des passages fauniques ne doit pas se baser uniquement sur le nombre d'individus qui traversent avec succès le passage. L'efficacité doit se mesurer en fonction du maintien de

l'intégrité des écosystèmes et de la performance écologique (Clevenger, 2012). En d'autres mots, les passages fauniques doivent permettre de rétablir la connectivité du territoire et de diminuer les effets négatifs des routes sur la faune cible. Les animaux doivent accéder au territoire et aux ressources qu'il offre. Ils doivent pouvoir rencontrer des partenaires sexuels et effectuer les migrations nécessaires. Si seulement quelques individus d'une population intègrent les passages fauniques dans leur routine de déplacement, alors l'objectif n'est pas nécessairement atteint. D'où l'importance de bien planifier les projets de passages fauniques et de les aménager en premier lieu pour la faune.

La grille exposée à l'annexe 1 résume les informations les plus pertinentes quant à l'implantation des passages fauniques et les types d'infrastructures à prioriser selon les groupes d'espèces cibles. Cet outil offre un aperçu complet des principales recommandations et facteurs de réussite des projets de passages fauniques.

7. RECOMMANDATIONS

Les passages fauniques sont aujourd'hui nécessaires, puisque nous avons empiété sur les milieux naturels et détruit des habitats de qualité. L'étalement urbain et le développement de nouveaux réseaux routiers sont en partie responsables de la fragmentation du territoire, ce qui engendre maintenant des problèmes de mortalité routière et de perte de biodiversité. La faune doit se déplacer et accéder à une diversité de milieux, ce que facilitent les passages fauniques et les projets de restauration de la connectivité du territoire.

Cependant, les projets de passages fauniques à eux seuls ne permettent pas de répondre à toutes les problématiques. Un effort généralisé doit être fait afin de rétablir la connectivité et d'assurer dans le temps et l'espace le maintien de la biodiversité. Dans cette optique, ce chapitre présente des recommandations pour divers intervenants qui adhèrent en ce sens.

7.1. Palier gouvernemental

Le gouvernement provincial a le pouvoir de légiférer, de fournir des orientations claires et ciblées afin d'améliorer l'état des milieux naturels et de la connectivité du territoire en lien avec ses engagements internationaux de protection de la biodiversité notamment.

D'abord, d'un point de vue urbanistique, le gouvernement a le pouvoir de limiter la perte de milieux naturels via les grandes orientations, que les municipalités régionales de comtés doivent ensuite transposer dans leurs schémas d'aménagement et de développement pour planifier leur développement territorial. Un message fort émanant du gouvernement encouragerait les instances municipales à suivre le pas.

Le gouvernement pourrait aller encore plus loin en appliquant le principe de pollueur-payeur et de zéro perte nette, telle qu'il est observé dans la réforme de la loi sur les milieux hydriques et humides. Un projet similaire pourrait s'appliquer à l'ensemble des milieux naturels et forestiers, où chaque parcelle de territoire forestier détruit devrait être compensée. De cette façon, le couvert végétal cesserait de diminuer et les habitats pour la faune pourraient être maintenus. Cette recommandation pourrait s'appliquer principalement dans le sud de la province, où l'enjeu de la perte de couvert forestier est plus important.

Le gouvernement devrait également financer des projets de restauration de la connectivité du territoire et des projets de passages fauniques qui ne sont pas réalisés sur les routes provinciales. Les municipalités et les organismes de conservation pourraient alors s'investir davantage et contribuer à la connectivité à l'échelle locale, dans des secteurs clés. De plus, une aide accrue devrait être fournie pour la restauration de milieux naturels afin de favoriser le maintien de la biodiversité.

Le gouvernement doit aussi respecter son engagement de créer 17 % d'aires protégées au Québec d'ici 2020, et ce, non seulement dans le nord du Québec comme c'est le cas actuellement (Champagne, 2018, 18 juillet) mais aussi et prioritairement dans le sud. En effet, les besoins de protection sont élevés dans le sud de la province, là où la biodiversité subit de fortes pressions dues à la présence humaine et où les

changements climatiques auront des effets majeurs. Les modèles climatiques qui s'intéressent à la migration des espèces fauniques et floristiques sont clairs : le sud du Québec accueillera de nouvelles espèces qui auront besoin d'habitats de qualité et la possibilité de migrer vers le nord via des corridors de déplacements fonctionnels. Les passages fauniques, dans ce cas, ne seront pas suffisants. Le gouvernement a les moyens d'agir en ce sens, il suffit de mettre les ressources nécessaires à l'aide d'incitatifs efficaces.

Les ministères de la Faune, des Forêts et des Parcs et de l'Environnement, du Développement durable et de la Lutte contre les Changements climatiques devraient exiger des mesures de compensation, de maintien des milieux naturels, de restauration et des passages fauniques pour tous les projets qui détruisent les habitats et la connectivité. Ils en ont le pouvoir par la voie des demandes d'autorisation et de certificats d'autorisation. Ces exigences permettraient de réduire les pertes de milieux naturels et de contribuer à la sauvegarde des écosystèmes.

De son côté, le MTMDET devrait restreindre les constructions de nouvelles routes à grand débit de circulation, qui sont souvent infranchissables par la faune et qui ont de nombreux effets négatifs sur la biodiversité. Les nouvelles routes devraient quant à elles être construites à distance des milieux naturels peu perturbés par l'humain. Il est préférable, voire essentiel, de conserver les habitats de la faune et de garantir la connectivité du territoire. Enfin, des passages fauniques devraient être prévus dans tous les projets de construction et de réfection des routes. Pour ce faire, le MTMDET devrait s'engager dans l'étude écologique du territoire et de la faune. Des secteurs propices aux passages fauniques devraient être localisés en prévision des travaux à venir. Des alliances avec les universités et les études graduées devraient être développées dans toutes les régions administratives de la province.

7.2. Palier municipal

Le milieu municipal détient le pouvoir de repenser son développement urbain de façon à limiter la perte de milieux naturels, ce qui contribue au maintien de la biodiversité et de la connectivité du territoire. Le développement durable d'une ville est primordial. Pour ce faire, les urbanistes et aménagistes doivent prévoir la densification des zones résidentielles et offrir des milieux de vie à échelle humaine. Dans ces conditions, les citoyens voient leurs conditions de vie s'améliorer et la nature en tire profit. Le développement de nouveaux quartiers devrait avoir lieu là où des infrastructures sont déjà existantes ou seulement dans des milieux naturels déjà perturbés et de mauvaise qualité biologique.

De plus, les espaces verts urbains devraient être reliés aux milieux naturels périphériques. Pour ce faire, la technique des pas japonais peut être privilégiée, les bandes riveraines peuvent être revégétalisées et élargies, les parcs peuvent être reboisés et des passages fauniques peuvent être installés au sein de la ville. De plus, les plantations devraient inclure des espèces indigènes et la tonte systématique des milieux ouverts devrait être revue. Ces milieux sont souvent riches en biodiversité et offrent nourriture et abris pour de nombreuses espèces. Il faut revoir les critères d'esthétisme afin de favoriser le maintien de la

biodiversité. Une bonne communication de ces enjeux aux citoyens devrait permettre de réduire les plaintes à cet égard.

Les municipalités devraient également suivre la recommandation minimale de 30 % de couvert forestier sur leur territoire. Ce pourcentage est le seuil minimal qui garantit un maintien de base de la biodiversité (Environnement Canada, 2013).

Les urbanistes peuvent également identifier dans le plan d'urbanisme des zones de connectivité et des ceintures vertes. Dans ces secteurs d'intérêt écologique, le développement est restreint à certaines activités qui ont l'avantage de ne pas perturber l'environnement. Il faut cependant bien connaître son territoire pour y parvenir.

Les municipalités doivent également procéder à la caractérisation de leurs milieux naturels afin de connaître leur territoire et de leur attribuer une valeur écologique. Cet effort permet d'identifier les secteurs propices à des projets de conservation et qui favorisent la connectivité du territoire selon les attributs et la richesse des habitats. Il est ensuite possible de déterminer quelles sont les zones importantes pour la connectivité et permettre de cibler les endroits où les interventions devront être privilégiées (ex. : passage faunique).

Les agriculteurs doivent faire partie de la solution et être consultés. La connectivité du territoire peut être favorisée par le biais de leurs terres. En effet, les sols en friches sont riches en biodiversité, offrent des abris et de la nourriture pour de nombreuses espèces. De plus, des bandes végétalisées peuvent être aménagées dans les cultures ou des bandes riveraines le long des cours d'eau, ce qui offre une aire de déplacement pour la faune, tout en ayant l'avantage d'agir à titre de haie brise-vent.

De plus, les municipalités avoisinantes devraient s'associer entre elles et établir une collaboration d'entraide dans le but de préserver les milieux naturels exceptionnels qui bordent leurs territoires et pour mieux planifier en concertation.

Enfin, il est recommandé d'impliquer les citoyens dans ces démarches. En les sensibilisant et en les impliquant dans le processus, ils auraient l'opportunité d'apporter un appui au maintien de la biodiversité de leur quartier et développeront un sentiment d'accomplissement et de fierté à travers ces actions concrètes.

7.3. Organismes de conservation

Les organismes de conservation doivent continuer leur travail auprès des municipalités et des propriétaires privés. Leur rôle de soutien et d'appui aux projets est important et permet de faire avancer la protection de la biodiversité dans la province.

Ils pourraient offrir davantage de formations, notamment sur l'urbanisme durable, sur les possibilités accessibles aux municipalités et sur l'importance de préserver les milieux naturels dans les territoires.

De plus, il est souhaitable que les organismes de conservation s'associent avec des institutions scolaires afin de consolider leur base de données et pour mettre à jour les connaissances disponibles dans les domaines de l'écologie du paysage. Il faut briser les silos entre les connaissances théoriques et l'application des concepts sur le terrain.

7.4. Autres

Il est recommandé que les initiateurs de projets de passages fauniques incluent les institutions scolaires, de niveaux collégial et universitaire, afin d'augmenter les données disponibles sur la faune et les effets des routes sur la biodiversité. Les étudiants, supervisés par du personnel compétent et avec des protocoles approuvés, peuvent tout à fait procéder à la collecte et à l'analyse des données. En plus de participer à la formation de la relève, l'initiateur du projet obtient des données essentielles à l'efficacité des passages fauniques.

Enfin, il serait tout à fait approprié qu'une plateforme d'échanges et de discussions pour les professionnels de l'écologie routière soit créée. Ce média servirait à partager des données, des informations, des trucs et des expertises. La communication serait facilitée et les projets de passages fauniques en bénéficieraient. L'Association des biologistes du Québec pourrait chapeauter un tel projet pilote et ouvrir ses portes, pour le volet partage des connaissances, aux autres domaines d'expertise pertinents.

CONCLUSION

L'installation de passages fauniques sur les routes du Québec favorise la connectivité du territoire et réduit les collisions entre les automobilistes et la grande faune. Ces structures sont aujourd'hui nécessaires afin de faire face aux problématiques engendrées par le réseau routier et l'étalement urbain. Inscrits dans des projets de corridors fauniques, les passages facilitent le déplacement de la faune et permettent d'améliorer la résilience des communautés. Cependant, de nombreux enjeux se rattachent à ces projets et doivent être considérés lors de leur élaboration. En effet, le clivage entre les résultats des chercheurs et l'application concrète sur le terrain fait en sorte que toutes les connaissances ne sont pas intégrées aux projets. Il en résulte que l'efficacité des passages fauniques est réduite, alors qu'une meilleure communication et intégration des données écologiques permettrait d'augmenter leur efficacité.

C'est dans cet esprit que l'objectif de cet essai était d'identifier les facteurs de réussite des projets de passages fauniques et de formuler des recommandations quant à leur aménagement au Québec. Pour ce faire, il a d'abord fallu présenter des notions théoriques et conceptuelles générales afin d'uniformiser les connaissances et le vocabulaire. Ensuite, les types de passages fauniques ont été présentés, ce qui a permis d'analyser les possibilités et les caractéristiques propres à chacun. Une revue de la législation qui s'applique aux projets de passages fauniques ainsi qu'à la connectivité du territoire a aussi permis de trouver des pistes de solutions pour améliorer les pratiques, autant dans les gouvernements fédéral et provincial que dans l'instance municipale. Des exemples de cas concrets d'application de la loi et de projets réussis démontrent qu'il est envisageable de faire avancer les choses et de diminuer les effets négatifs de la fragmentation du territoire sur les écosystèmes.

Ces informations ont ensuite permis de décortiquer avec précision les enjeux des passages fauniques, de comprendre leur amplitude et leurs conséquences. Les informations récoltées ont permis de prendre conscience des difficultés à cibler les espèces prioritaires dans un contexte où les ressources sont limitées et de localiser un endroit efficace qui assurera le passage sécuritaire de la faune. De ces enjeux découlent les facteurs de réussite des projets. Ces derniers ont été inspirés des apprentissages transmis par des professionnels ainsi que par les chercheurs spécialisés en écologie routière. Ces étapes mises ensemble permettent de répondre à l'objectif en offrant une vision globale et complète des projets de passages fauniques aux professionnels concernés. Ces derniers pourront alors considérer l'ensemble des défis s'y rattachant et prévoir leurs projets de façon optimisée.

Ce travail a fait ressortir les difficultés rencontrées et les problèmes qui persistent dans le domaine de l'écologie routière et dans le maintien de la biodiversité au Québec. À cet égard, des recommandations ont été formulées dans l'espoir d'améliorer la situation et d'encourager les parties prenantes à collaborer pour mettre en place des solutions. Ces recommandations, plus générales, s'inscrivent dans la volonté d'améliorer l'état des écosystèmes du Québec, ce à quoi participent les passages fauniques.

Bien que les passages fauniques soient présents dans la province québécoise, davantage d'efforts seront nécessaires et urgents. En effet, même si les conséquences de l'étalement urbain sur les écosystèmes sont bien documentées, le phénomène ne diminue pas, au contraire. Les milieux naturels intacts diminuent, de même que les habitats de qualité pour la faune. La protection de ces milieux devrait devenir une priorité et tous nouveaux développements routiers et toutes les réfections de routes devraient inclure des passages fauniques efficaces et adaptés à la faune locale. Dans un contexte de changements climatiques, où il est estimé que de nombreuses espèces du sud de la frontière migreront vers le nord, il est impératif de prévoir des corridors de déplacement et des milieux de vie adéquats pour les accueillir.

RÉFÉRENCES

- Banque mondiale. (2017). Population urbaine (% du total). Repéré à https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SP.URB.TOTL.IN.ZS?locations=CA&name_desc=false
- Bédard, Y., Alain, É., Leblanc, Y., Poulin, M.-A. et Morin, M. (2012). Conception et suivi des passages à petite faune sous la route 175 dans la réserve faunique des Laurentides. *Le Naturaliste canadien*, 136(2), 66-71.
- Bellefeuille, S. de et Poulin, M. (2004). *Mesures de mitigation visant à réduire le nombre de collisions routières avec les cervidés*. Québec, Québec : Ministère des Transports. Repéré à <http://www4.bnquebec.ca/pgq/2005/2991073.pdf>
- Benítez-López, A., Alkemade, R. et Verweij, P. A. (2010). The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. *Biological Conservation*, 143(6), 1307-1316.
- Bissonette, J. A. et Adair, W. (2008). Restoring habitat permeability to roaded landscapes with isometrically-scaled wildlife crossings. *Biological Conservation*, 141(2), 482-488.
- Bouchard, J., Ford, A., Eigenbrod, F. et Fahrig, L. (2009). Behavioral responses of northern leopard frogs (*Rana pipiens*) to roads and traffic: implications for population persistence. *Ecology and Society*, 14(2).
- Boucher, I. et Fontaine, N. (2010). *La biodiversité et l'urbanisation*. Québec : Ministère des affaires municipales, des régions et de l'occupation du territoire, Direction générale des politiques, Unité ministérielle de recherche et de veille. Repéré à <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/2019301>
- Boucher, P.-O. (2013). *Une stratégie de conservation axée sur la connectivité pour les Laurentides au Québec* (Essai de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec.
- Champagne, É.-P. (2018, 18 juillet). Mise en place d'aires protégées: Québec protège le Nord et ignore le Sud. *La Presse*. Repéré à <http://www.lapresse.ca/environnement/politique-verte/201807/18/01-5189931-mise-en-place-daires-protgees-quebec-protge-le-nord-et-ignore-le-sud.php>
- Clevenger, A. (2012). Leçons tirées de l'étude des passages fauniques enjambant une autoroute dans le parc national de Banff. *Le naturaliste canadien*, 136(2), 35-41.
- Clevenger et Huijser, M. P. (2011). *Wildlife crossing structure handbook design and evaluation in North America* (U.S. Departement of Transportation). Repéré à https://roadecology.ucdavis.edu/files/content/projects/DOT-FHWA_Wildlife_Crossing_Structures_Handbook.pdf
- Colorado Parks & Wildlife. (2017). The Colorado Highway 9 Wildlife Crossing Project. Repéré à <http://cpw.state.co.us/hwy9>
- Communauté métropolitaine de Montréal. (2016). Trame verte et bleue du Grand Montréal. Repéré à <http://cmm.qc.ca/fr/champs-intervention/environnement/dossiers-en-environnement/trame-verte-et-bleue-du-grand-montreal/>
- Corridor appalachien. (2017). Colloque sur l'écologie routière et l'adaptation aux changements climatiques : de la recherche aux actions concrètes. Repéré à <http://www.colloqueecologieroutiere.org/index.php/fr/>
- Dupras, J., Marull, J., Parcerisas, L., Coll, F., Gonzalez, A., Girard, M. et Tello, E. (2016). The impacts of urban sprawl on ecological connectivity in the Montreal Metropolitan Region. *Environmental Science & Policy*, 58, 61-73.
- Eberhardt, E., Mitchell, S. et Fahrig, L. (2013). Road kill hotspots do not effectively indicate mitigation locations when past road kill has depressed populations: Roadkill Hotspots Can Mislead Mitigation. *The Journal of Wildlife Management*, 77(7), 1353-1359.

- Environnement Canada. (2013). *Quand l'habitat est-il suffisant?* (3^e éd.). Toronto, Ontario : Environnement Canada. Repéré à http://publications.gc.ca/collections/collection_2013/ec/CW66-164-2013-fra.pdf
- Fahrig, L. et Rytwinski, T. (2009). Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and society*, 14(1).
- Forman, R. T. (1998). Road ecology: a solution for the giant embracing us. *Landscape Ecology*, 13(4), III–V.
- Forman, R. T. et Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual review of ecology and systematics*, 29(1), 207–231.
- Garrah, E., Danby, R. K., Eberhardt, E., Cunningham, G. M. et Mitchell, S. (2015). Hot spots and hot times: wildlife road mortality in a regional conservation corridor. *Environmental Management*, 56(4), 874-889.
- Glista, D. J., DeVault, T. L. et DeWoody, J. A. (2009). A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and Urban Planning*, 91(1), 1-7.
- Gratton, L. (2014). *Protocole d'identification des corridors et des passages fauniques*. Repéré à http://www.corridorappalachien.ca/wp-content/uploads/2016/09/protocole_corridors_fauniques_aut10.pdf
- Gunson, K. et Teixeira, F. Z. (2015). Road–wildlife mitigation planning can be improved by identifying the patterns and processes associated. Dans *Handbook of Road Ecology* (1^{re} éd., p. 101). États-Unis : R van der Ree, D.J.Smith, C. Grilo.
- Heigl, F., Horvath, K., Laaha, G. et Zaller, J. G. (2017). Amphibian and reptile road-kills on tertiary roads in relation to landscape structure: using a citizen science approach with open-access land cover data. *BMC Ecology*, 17(1). Repéré à <http://bmcecol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12898-017-0134-z>
- Hoskin, C. J. et Goosem, M. W. (2010). Road Impacts on Abundance, Call Traits, and Body Size of Rainforest Frogs in Northeast Australia. *Ecology and Society*, 15(3). Repéré à <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss3/art15/>
- Jackson, N. D. et Fahrig, L. (2011). Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. *Biological Conservation*, 144(12), 3143-3148.
- Jacobs, J. (1961). *The death and life of greath american cities*. États-Unis : Random house.
- Jaeger, J. A. G., Bélanger-Smith, K., Gaitan, J., Plante, J., Bowman, J. et Clevenger, A. P. (2017). *Suivi de l'utilisation et de l'efficacité des passages à faune le long de la route 175 pour les petits et moyens mammifères* (Rapport final). Québec.
- Jaeger, J. A. G., Bertiller, R., Schwick, C. et Kienast, F. (2010). Suitability criteria for measures of urban sprawl. *Ecological Indicators*, 10(2), 397-406.
- Jaeger, J. A. G., Bowman, J., Brennan, J., Fahrig, L., Bert, D., Bouchard, J., ... von Toschanowitz, K. T. (2005). Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modelling*, 185(2-4), 329-348.
- Kohler, Y., Scheurer, T. et Ullrich, A. (2009). Réseaux écologiques dans l'Arc alpin: Des démarches innovantes pour la sauvegarde de la biodiversité. *Revue de géographie alpine*, (97-1). Repéré à <http://journals.openedition.org/rga/798>
- Laliberté, M. (2016, 8 mars). Futurs développements résidentiels à Granby: passages fauniques obligatoires. *La Voix de l'Est*. Repéré à <https://www.lavoixdelest.ca/actualites/futurs-developpementsresidentiels-a-granby-passages-fauniques-obligatoires-7da8f6a53c392a76375b7f68e9b62d1a>
- Lamontagne, H. (2017). Suivi de l'efficacité des aménagements pour la grande et la petite faune : autoroute 85, tronçon Dégelis (km 0 à 8,2). Repéré à

- http://roadecologyconference.org/images/affiches/Poster_HubertLamontagne_SuivisAmenagementFauneAut85_LORES.pdf
- Lemieux, K. (2018). *Interventions à privilégier pour aménager des écorridors entre le parc national du Mont-Tremblant et le parc national d'Oka au profit de la biodiversité* (Essai de maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec.
- Lesbarrères, D. et Fahrig, L. (2012). Measures to reduce population fragmentation by roads: what has worked and how do we know? *Trends in Ecology & Evolution*, 27(7), 374-380.
- Lesmerises, F., Dussault, C. et St-Laurent, M.-H. (2012). Réponses du loup gris au réseau routier et à la présence d'un important chantier de construction. *Le Naturaliste canadien*, 136(2), 29-34.
- Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune*, RLRQ, c. C-61.1.
- Loi sur la qualité de l'environnement*, RLRQ, c. Q-2.
- Loi sur l'aménagement et l'urbanisme*, RLRQ, c. A-19.1.
- Loi sur le développement durable*, RLRQ, c. D-8.1.1.
- Loi sur les espèces en péril*, L.R.C., 2002, c. 29.
- Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire. (2010a). Plan d'urbanisme - Outils de planification. Repéré à <https://www.mamrot.gouv.qc.ca/amenagement-du-territoire/guide-la-prise-de-decision-en-urbanisme/planification/plan-durbanisme/>
- Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire. (2010b). Schéma d'aménagement et de développement - Outils de planification. Repéré à <https://www.mamrot.gouv.qc.ca/amenagement-du-territoire/guide-la-prise-de-decision-en-urbanisme/planification/schema-damenagement-et-de-developpement/>
- Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports. (2018). Information sur le réseau routier. Repéré à <http://www.transports.gouv.qc.ca/fr/projets-infrastructures/info-reseau-routier/Pages/information-sur-le-reseau-routier.aspx?rev=636553378840278097>
- Municipalité d'Austin. (2016a). Plan d'action pour un aménagement durable du territoire de la municipalité rurale d'Austin. Municipalité d'Austin. Repéré à <http://www.municipalite.austin.qc.ca/uploaddir/files/Plan-amenagement-AUS20141211-WEB.pdf>
- Municipalité d'Austin. (2016b). Plan d'urbanisme durable. Municipalité d'Austin. Repéré à http://www.municipalite.austin.qc.ca/uploaddir/files/Plan_durbanisme_refonte_Austin_26_octobre_2016.pdf
- Peltier, J. (2012). Incidence et prévention des accidents routiers impliquant la grande faune sur le réseau du ministère des Transports du Québec. *Le Naturaliste canadien*, 136(2), 89-94.
- Primack, R. B. (2014). *Essentiels of conservation biology* (6^e éd.). Massachusset, États-Unis : Sinauer Associates, Inc.
- Règlement désignant les activités concrètes*, DORS/2012-147.
- Règlement sur les habitats fauniques*, RLRQ, c. C-61.1, r. 18.
- Rytwinski, T. et Fahrig, L. (2011). Reproductive rate and body size predict road impacts on mammal abundance. *Ecological Applications*, 21(2), 589-600.
- Rytwinski, T. et Fahrig, L. (2012). Do species life history traits explain population responses to roads? A meta-analysis. *Biological Conservation*, 147(1), 87-98.
- Rytwinski, T. et Fahrig, L. (2013). Why are some animal populations unaffected or positively affected by roads? *Oecologia*, 173(3), 1143-1156.
- Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K. et Merriam, G. (1993). Connectivity Is a Vital Element of Landscape Structure. *Oikos*, 68(3), 571-573.

- Teixeira, F. Z., Kindel, A., Hartz, S. M., Mitchell, S. et Fahrig, L. (2017). When road-kill hotspots do not indicate the best sites for road-kill mitigation. *Journal of Applied Ecology*, 54(5), 1544-1551.
- Trombulak, S. C. et Frissell, C. A. (2000). Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 14(1), 18-30.
- Urbaniste de la Ville de Granby. (2018). Passages fauniques obligatoires pour les nouveaux projets résidentiels de la Ville de Granby.
- van der Grift, E. A., van der Ree, R., Fahrig, L., Findlay, S., Houlahan, J., Jaeger, J. A. G., ... Olson, L. (2013). Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. *Biodiversity and Conservation*, 22(2), 425-448.
- van der Ree, R., Jaeger, J. A., van der Grift, E. A. et Clevenger, A. P. (2011). Effects of roads and traffic on wildlife populations and landscape function: road ecology is moving toward larger scales. *Ecology and society*, 16(1).
- Ville de Granby. (2016). *Règlement 0662-2016 de Plan d'urbanisme*. Granby : Ville de Granby. Repéré à <http://www.ville.granby.qc.ca/webconcepteurcontent63/000024200000/upload/Citoyen/Reglement sMunicipaux/planurbanisme13octobre2017.pdf>
- Ville de Sherbrooke. (2012). Résumé du schéma d'aménagement et de développement révisé. Repéré à https://www.ville.sherbrooke.qc.ca/fileadmin/fichiers/Planification/Sherbrooke_Insertion_Schema_V4_aveclogorecycle.pdf
- Woltz, H. W., Gibbs, J. P. et Ducey, P. K. (2008). Road crossing structures for amphibians and reptiles: Informing design through behavioral analysis. *Biological Conservation*, 141(11), 2745-2750.

ANNEXE 1 – GRILLE

Groupe d'espèces cibles	Enjeu	Priorité?	Localisation	Type de passages	Caractéristiques des passages	Mesures complémentaires	Références
Amphibiens	Conservation	Oui	Selon la présence d'habitats	Tunnels spécialisés pour les amphibiens	Diamètre des tunnels : 0,5 à 0,9 m / Substrat en petites roches / Éclairage souhaitable (ampoules à énergie solaire)	Clôtures (petites mailles), signalisation temporaire dans les zones non clôturées, bordures de rue surélevées.	Rytwinski et Fahrig, 2012 ; Woltz et al., 2008
				Inférieurs, ponceaux adaptés			
Reptiles	Conservation	Oui	Selon la présence d'habitats	Inférieurs, ponceaux adaptés			
Grande faune							
Canidés	Conservation	Oui	Selon les corridors de déplacement	Supérieurs et inférieurs, préférence pour les passages supérieurs	Pente douce, design en arche parabolique, accès pour la faune seulement	Infrastructures pour restreindre le passage humain / clôtures d'exclusion (2,4 m de haut, mailles de 30 cm X 18 cm, transect de fin de 100 m de long, perpendiculaire à la route) / signalisation intelligente / panneaux d'information / caméra, batteries au lithium et cartes mémoires	Clevenger et Huijser, 2011 ; Clevenger, 2012
Félins	Conservation			Supérieurs et inférieurs, préférence pour les passages supérieurs			
Ongulés	Sécurité			Dans l'ouest: les orignaux, wapitis, cerfs préfèrent les passages supérieurs.			Clevenger et Huijser, 2011 ; Clevenger, 2014
				Au Québec, les orignaux et les cerfs utilisent les passages inférieurs (ouverture minimale de 2 m par 6 m)			
Ursidés	Sécurité			Supérieurs et inférieurs			Bédard, 2012 ; Clevenger, 2012

Groupe d'espèces cibles	Enjeu	Priorité?	Localisation	Type de passages	Caractéristiques des passages	Mesures complémentaires	Références
Petite et moyenne faune	Conservation	Non	Selon les corridors de déplacement	Inférieurs, ponceaux adaptés, ponceaux secs (TBA)	Ponceau simple, ponceau avec pied-sec, ponceau avec porte-à-faux, muret troué	Couvert végétal / présence d'abris (bûches, troncs, pierres) / clôtures d'exclusion (90 cm de hauteur, 100 mètres de long de part et d'autre du passage, enfoui dans le sol) / continu (sans ouverture)	Bédard, 2012